



# **Universitat Jaume I**

**Escola Superior de Tecnologia i Ciències Experimentals**

**Grau en Enginyeria Química**

**Diseño de un tanque mezclador con sistema de  
calentamiento para la producción de protectores solares**

**Trabajo Fin de Grado**

**Autora:**

Paula Martínez Aguilera

**Tutora:**

María José Orts Tarí

Castellón, febrero de 2020



## Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a mis padres, Rafael y Susana, por su apoyo incondicional y por confiar en mí siempre, gracias por comprenderme.

A mi familia, por estar siempre a mi lado.

A Ángel García Eixea por su apoyo y ayuda cuando más lo necesito. Gracias por confiar en mí sin dudarlo nunca.

A todos y cada uno de los profesores del Grado en Ingeniería Química que me han ayudado a realizar el proyecto, en especial a mi tutora María José Orts Tarí, gracias por tu ayuda y por implicarte tanto estos meses y a Ana Gosálbo Nebot, gracias por colaborar para que este proyecto saliera adelante.

Y por último, dar las gracias a Sonia Macián Flor, la que fue mi supervisora en la empresa Laboratorios Costa, S.L, por estar siempre dispuesta a ayudarme.



# **0. RESUMEN**



El presente proyecto consiste en el diseño de un tanque mezclador para la producción de protectores solares.

El motivo de su realización es la ampliación de la línea de elaboración de protectores solares requerida por un laboratorio de fabricación de productos cosméticos de alta calidad, de forma que pueda abastecer el aumento progresivo de la demanda de dichos productos.

Para llevar a cabo el diseño del tanque mezclador se van a tener en cuenta distintas características: tipo de agitador para el sistema de agitación, potencia necesaria para dicho sistema, necesidad o no de placas deflectoras y tipo de sistema de calentamiento.

Una vez seleccionadas las características óptimas se realiza el diseño del intercambiador de calor, el cual se dividirá en 3 etapas:

- Selección de las alternativas óptimas: en esta fase se muestran diferentes opciones para varias de las características anteriormente citadas y se selecciona la más adecuada mediante el procedimiento de selección multicriterio.
- Selección del material de construcción: en esta etapa se elige el material más apropiado para la construcción del tanque y de sus elementos teniendo en cuenta dos características: resistencia a la corrosión y resistencia mecánica del material.
- Diseño del tanque mezclador: en la última fase se dimensiona el tanque y sus elementos. Se analiza la transmisión de calor en el tanque para cumplir el objetivo previsto y se calculan diversos parámetros necesarios para obtener un diseño completo como son: potencia del agitador, presión de diseño, etcétera.

Tras realizar el diseño del tanque mezclador, se desarrolla un estudio de viabilidad económica de manera que se analizan los distintos aspectos económicos del proyecto.

## Diseño de un tanque mezclador con sistema de calentamiento para la producción de protectores solares

---



# **1. ÍNDICE GENERAL**



# ÍNDICE GENERAL

- 0. RESUMEN
- 1. ÍNDICE GENERAL
- 2. MEMORIA
- 3. ANEXOS
- 4. PLANOS
- 5. PLIEGO DE CONDICIONES
- 6. MEDICIONES
- 7. PRESUPUESTO



## **2. MEMORIA**



## ÍNDICE

1. Objeto .....	7
2. Justificación .....	9
3. Alcance .....	11
4. Antecedentes .....	13
4.1. Protectores solares .....	14
4.2. Proceso de fabricación .....	16
4.3. Elementos de un tanque mezclador .....	17
4.3.1. Tanque mezclador.....	17
4.3.2. Sistema de agitación .....	19
4.3.3. Deflectores .....	24
4.3.4. Sistema de transferencia de calor .....	25
5. Normas y referencias.....	27
5.1. Disposiciones legales y normas aplicadas.....	27
5.2. Bibliografía y Webgrafía.....	27
6. Definiciones y abreviaturas .....	31
7. Especificaciones de diseño .....	37
8. Análisis de soluciones .....	39
8.1. Selección de las alternativas óptimas.....	39
8.2. Selección del material de construcción de los elementos del mezclador.....	43
9. Resultados finales .....	45
9.1. Estructura del tanque.....	45
9.2. Sistema de agitación .....	46
9.3. Placas deflectoras.....	47
9.4. Sistema de calentamiento .....	48
10. Estudio de viabilidad económica .....	49

10.1.	Resumen del presupuesto .....	49
10.2.	Cuenta de Explotación.....	50
10.2.1.	Ingresos .....	50
10.2.2.	Gastos.....	51
10.2.3.	Amortización .....	55
10.2.4.	Beneficios.....	56
10.2.5.	Flujo de Caja .....	56
10.3.	Estudio de rentabilidad .....	59
10.3.1.	Valor Actual Neto (VAN).....	59
10.3.2.	TIR (Tasa Interna de Rentabilidad) .....	59
10.3.3.	PR (Período de Retorno).....	60
10.4.	Conclusión .....	60



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Acción de los filtros solares físicos. ....	14
<b>Figura 2:</b> Acción de los filtros solares químicos. ....	15
<b>Figura 3:</b> Esfuerzo cortante frente al gradiente de velocidad. ....	16
<b>Figura 4:</b> Viscosidad frente al esfuerzo cortante (a) y al gradiente de velocidad (b). ....	17
<b>Figura 5:</b> Diseño estándar de un tanque de mezclado. ....	18
<b>Figura 6:</b> Motor eléctrico (izquierda) y reductor de velocidad (derecha). ....	18
<b>Figura 7:</b> Motor eléctrico con un reductor de velocidad adaptado. ....	19
<b>Figura 8:</b> Tipos de flujo generados por los impulsores. ....	20
<b>Figura 9:</b> Formación de vórtice y remolino. ....	21
<b>Figura 10:</b> Tipos de hélices. ....	22
<b>Figura 11:</b> Tipos de hojas. ....	23
<b>Figura 12:</b> Tipos de palas. ....	24
<b>Figura 13:</b> Disposiciones de los deflectores. ....	24
<b>Figura 14:</b> Tanque con camisa de calentamiento/enfriamiento incorporada. ....	25
<b>Figura 15:</b> Serpentín sumergido en el seno de un tanque. ....	26
<b>Figura 16:</b> Curvas de viscosidad del protector solar a diferentes temperaturas. ....	38
<b>Figura 17:</b> Esquema de las etapas de diseño del tanque mezclador. ....	39
<b>Figura 18:</b> Modelo del motor eléctrico y del reductor de velocidades. ....	47



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Alternativas del fondo del tanque. ....	40
<b>Tabla 2:</b> Alternativas de tipos de impulsores. ....	41
<b>Tabla 3:</b> Alternativas de sistema de transferencia de calor. ....	42
<b>Tabla 4:</b> Parámetros para el diseño de la estructura del tanque. ....	45
<b>Tabla 5:</b> Parámetros para el diseño del sistema de agitación. ....	46
<b>Tabla 6:</b> Parámetros para el diseño de las placas deflectoras. ....	47
<b>Tabla 7:</b> Parámetros para el diseño del sistema de calentamiento. ....	48
<b>Tabla 8:</b> Presupuesto de Ejecución Material (PEM). ....	49
<b>Tabla 9:</b> Presupuesto total. ....	50
<b>Tabla 10:</b> Ingresos. ....	51
<b>Tabla 11:</b> Fórmula tipo en función del FPS. ....	52
<b>Tabla 12:</b> Gastos directos. ....	54
<b>Tabla 13:</b> Gastos indirectos. ....	55
<b>Tabla 14:</b> Gastos totales. ....	56
<b>Tabla 15:</b> Cuenta de explotación. ....	58
<b>Tabla 16:</b> Resumen indicadores financieros. ....	60



## **1. Objeto**

El objetivo de este proyecto es diseñar un tanque mezclador con sistema de calentamiento para la producción de protectores solares.

Para realizar el diseño del tanque mezclador se necesitará seleccionar los materiales adecuados, diseñar los elementos estructurales del tanque, el sistema de agitación y el sistema de calentamiento y por último, realizar los planos del tanque y de sus elementos y calcular el coste total que conllevaría poner en práctica el presente proyecto.



## **2. Justificación**

Este documento se realiza por la necesidad de elaborar un proyecto técnico relacionado con alguno de los diversos ámbitos de la ingeniería química.

A partir de la estancia en prácticas en Laboratorios Costa S.L. se ha decidido realizar el diseño de un tanque mezclador debido a que la empresa ha sufrido un aumento de la demanda de protectores solares, de forma que, los equipos de los que dispone son insuficientes para abastecer dicha demanda.





### **3. Alcance**

Los protectores solares son emulsiones que se obtienen a partir de la mezcla de diversas materias primas. Éstas se introducen en un tanque, que tenga la capacidad suficiente para elaborar la cantidad de producto deseada, y mediante el empleo de un agitador se mezclan hasta conseguir una mezcla homogénea.

Existen diversos tipos de agitadores, cada cual óptimo para el tipo de producto que se quiera obtener, ya sean productos cosméticos, pinturas, alimentos, etcétera. En este proyecto se realizará un estudio para seleccionar el sistema de agitación más adecuado para elaborar protectores solares.

Además del sistema de agitación, otro factor importante para obtener protectores solares correctamente es la aportación de calor a la mezcla que se está elaborando. Esto se debe a la presencia de filtros solares en la fórmula del elaborado. Éstos son los responsables de la protección de la epidermis, siendo fundamental el perfecto tratamiento de esta materia prima. Para conseguir que los filtros solares se integren en la mezcla, es necesario alcanzar una temperatura de 85°C de manera que así tenga lugar la correcta emulsión de éstos. Por este motivo, se llevará a cabo un análisis de diferentes alternativas de sistemas de calentamiento para elegir el más apropiado.



#### **4. Antecedentes**

La fabricación de protectores solares a escala industrial requiere de un tanque mezclador para que tenga lugar una correcta homogeneización de los componentes que se encuentran en su interior, y así dar lugar al producto final. El diseño correcto y eficiente de dicho equipo pertenece al ámbito de la Ingeniería Química.

La cosmética en general, y la fotodermoprotección en particular, han sido objeto de un importante y creciente desarrollo en aras de dar respuesta a las necesidades que la sociedad actual plantea.

El alto grado de concienciación social acerca de la nocividad de una excesiva y no controlada exposición a la radiación solar ha llevado a los consumidores a buscar niveles de protección cada vez más elevados. Como consecuencia, las industrias cosmética y farmacéutica han activado sus mecanismos de innovación para identificar y desarrollar nuevos ingredientes activos, nuevos excipientes, formas galénicas e incluso nuevas estrategias de protección que satisfagan las necesidades de una sociedad cada vez más exigente en este campo.

Con la finalidad de reforzar la seguridad de los productos y velar por la protección de los consumidores frente a reivindicaciones engañosas relativas a su eficacia, el Reglamento 1223/2009 ha impuesto a cualquier nuevo preparado cosmético la realización de pruebas de evaluación de seguridad y eficacia en voluntarios sanos, que den respaldo a la presentación del producto y sus beneficios. Desde la entrada en vigor de la citada normativa, estas pruebas tienen que ser incluidas en el expediente de información sobre el producto, que se presenta ante las autoridades competentes previamente a su comercialización.

Si bien el organismo dispone de una serie de mecanismos defensivos innatos para contrarrestar el daño solar, es también bien conocido que estas medidas resultan del todo insuficientes para prevenir el daño, a corto y a largo plazo, que el espectro de radiación solar es capaz de causar en el ser humano.

Los filtros solares constituyen la primera barrera artificial efectiva para minimizar los efectos nocivos de un exceso de exposición solar. Están destinados específicamente a reflejar, dispersar o absorber ciertas radiaciones con el fin de proteger la piel.

Los motivos anteriores hacen que, el trato adecuado de los filtros solares y por consiguiente la obtención de protectores solares de calidad sea de gran importancia y, para ello, sea

necesario diseñar equipos que puedan asegurar la efectividad del producto y del proceso de fabricación.

#### 4.1. Protectores solares

Se denomina protectores solares o fotoprotectores a todos aquellos productos (cremas, lociones, leches, etc), que se aplican sobre la piel con el fin de protegerla de los efectos perjudiciales de las radiaciones solares ultravioleta A (UVA) y/o ultravioleta B (UVB). Esto es posible porque en su composición llevan unas sustancias denominadas filtros solares, capaces de frenar la acción de uno y/u otro tipo de radiación.

Según su modo de acción, los filtros solares se clasifican en: físicos, químicos y biológicos.

Los **filtros físicos** son partículas minerales que actúan como pantallas opacas reflejando y dispersando las radiaciones UVB y UVA y la luz visible, según el tamaño de partícula y el grosor de la capa aplicada. Los filtros físicos son químicamente inertes, por lo que no suelen producir fotosensibilidad. Su mecanismo de actuación se esquematiza en la **Figura 1**.



**Figura 1:** Acción de los filtros solares físicos.

Los **filtros químicos** son, mayoritariamente, compuestos orgánicos aromáticos capaces de absorber radiaciones energéticas con longitudes de onda propias del espectro ultravioleta. Actúan impidiendo la transmisión de la radiación hacia los tejidos subyacentes evitando así los efectos perjudiciales que provoca la radiación solar sobre ellos, tal como se representa

en la **Figura 2**. Su capacidad protectora está condicionada por la longitud de onda que sea capaz de absorber la molécula (UVB, UVA), razón por la cual normalmente se utilizan combinaciones de filtros para aumentar su efectividad y conseguir un espectro de absorción lo más amplio posible.

Los filtros más empleados son el PABA (ácido p-amino benzoico) y sus derivados. Todos ellos deben presentar una buena estabilidad química y tolerabilidad cutánea, así como no suponer riesgo de fotoalergia o fotosensibilización tras los cambios generados en su estructura a consecuencia de la captura de los fotones UV.



**Figura 2:** Acción de los filtros solares químicos.

Finalmente, los **filtros biológicos** son antioxidantes que evitan la formación de radicales libres y, por lo tanto, potencian el subsistema inmunológico cutáneo. Se emplean cada vez con mayor profusión, y las vitaminas A (betacarotenos), C y E son las más utilizadas (en forma de acetato o palmitato).

La combinación de filtros químicos UVA/UVB y antioxidantes da lugar a preparados de amplio espectro de protección solar y elevada eficacia.

El factor de protección solar (FPS) indica el tiempo que se puede permanecer expuesto al sol con la piel protegida en comparación con la piel sin protección, hasta la aparición del eritema. El FPS, por tanto, es el cociente entre la dosis eritematogénica mínima en una piel protegida por un producto de protección solar y la dosis eritematogénica mínima en la misma piel sin proteger.

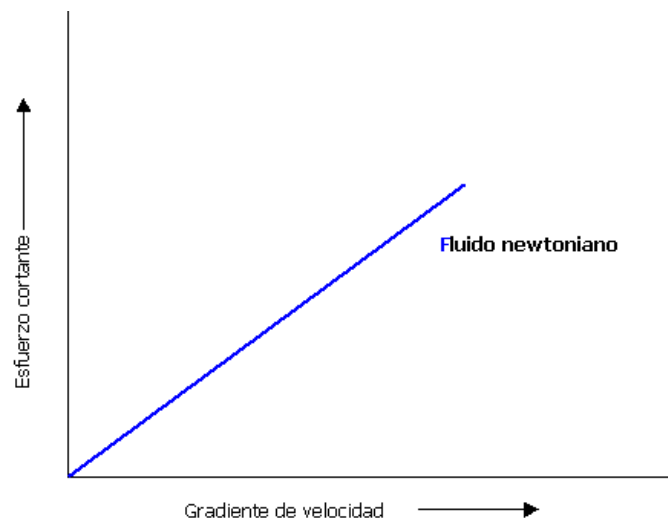
El valor numérico que aparece en el envase de un protector solar se refiere básicamente al efecto protector frente a la radiación UVB, que es la que genera eritema. Sin embargo, la protección solar tiene que ser efectiva frente a ambas radiaciones UVA y UVB: un mayor FPS debe ser proporcional a la protección que ofrece frente a UVA.

#### 4.2. Proceso de fabricación

El proceso de fabricación de protectores solares es un proceso en discontinuo y tiene lugar en un tanque mezclador con un sistema de calentamiento incorporado, de modo que se alcance la temperatura óptima para una elaboración correcta del producto.

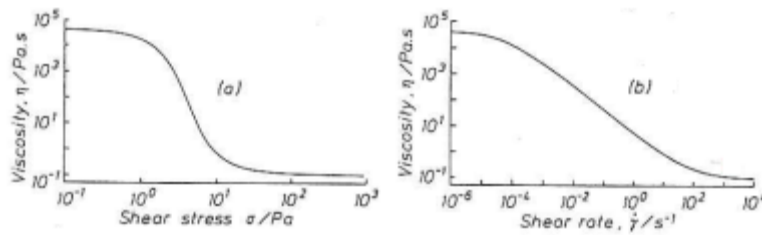
Para el diseño de este proceso deben considerarse las características reológicas de las cremas solares ya que su comportamiento no es Newtoniano.

Un fluido Newtoniano es aquel en el que se cumple que el esfuerzo cortante es proporcional a la velocidad de deformación, tal como se muestra en la **Figura 3**. La viscosidad de este tipo de fluidos es independiente del gradiente de velocidad (**Figura 4**) y puede depender sólo de la temperatura y quizá de la presión.



**Figura 3:** Esfuerzo cortante frente al gradiente de velocidad.

Los protectores solares son fluidos pseudoplásticos (no Newtonianos), es decir, su viscosidad disminuye al aumentar la el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación, de acuerdo con la **Figura 4** (a y b respectivamente). Para los fluidos no newtonianos la viscosidad se conoce generalmente como viscosidad aparente para enfatizar la distinción con el comportamiento newtoniano.



**Figura 4:** Viscosidad frente al esfuerzo cortante (a) y al gradiente de velocidad (b).

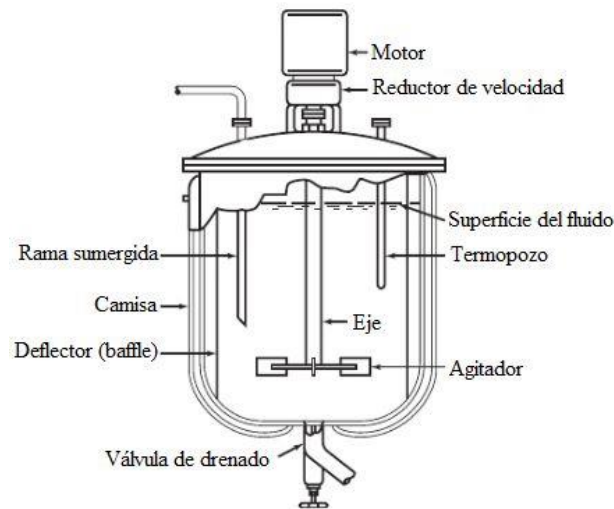
### 4.3. Elementos de un tanque mezclador

Los tanques mezcladores se componen de diversos elementos el conjunto de los cuales hace posible la elaboración del producto deseado:

- Depósito.
- Sistema de agitación.
- Deflectores.
- Sistema de calentamiento/enfriamiento, en función de las necesidades del producto a elaborar.

#### 4.3.1. Tanque mezclador

Los tanques mezcladores son equipos donde se realiza una mezcla de componentes, son generalmente de forma cilíndrica y pueden operar por lotes o de forma continua. Están provistos de un eje vertical. La parte superior del tanque puede estar abierta al aire; pero generalmente está cerrada. Las proporciones del tanque varían bastante, dependiendo de la naturaleza del problema de agitación. Sin embargo, en muchas situaciones se utiliza un diseño estandarizado como el que se muestra en la **Figura 5**. El fondo del tanque puede ser semiesférico, plano, cónico, siendo estas opciones las más usuales. Un impulsor va instalado sobre un eje suspendido, es decir, un eje sostenido en la parte superior. El eje es accionado por un motor, a veces directamente conectado al eje, pero es más común que se encuentre conectado a éste, a través de un reductor de velocidad. Por lo general también lleva incorporados accesorios tales como, serpentines o encamisados y pozo para termómetros u otros equipos de medición de la temperatura.



**Figura 5:** Diseño estándar de un tanque de mezclado.

Un motor eléctrico es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Adaptado al motor se encuentra un reductor de velocidad que adapta su velocidad de salida de una forma segura y eficiente para entregar el par que necesita el agitador para su correcto funcionamiento.

Existe una gran variedad de motores y reductores, siendo los motores síncronos los más populares en la industria debido a que tienen una velocidad de giro constante. La manera de transmitir potencia es conectar el elemento rotatorio (motor con reductor adaptado) sobre un eje que transferirá el movimiento y par de torsión del reductor al impulsor.

En la **Figura 6** se muestra un motor eléctrico y un reductor de velocidad.



**Figura 6:** Motor eléctrico (izquierda) y reductor de velocidad (derecha).



A continuación, se puede observar el resultado de la unión de un motor eléctrico y un reductor de velocidad, en la **Figura 7**.



**Figura 7:** Motor eléctrico con un reductor de velocidad adaptado.

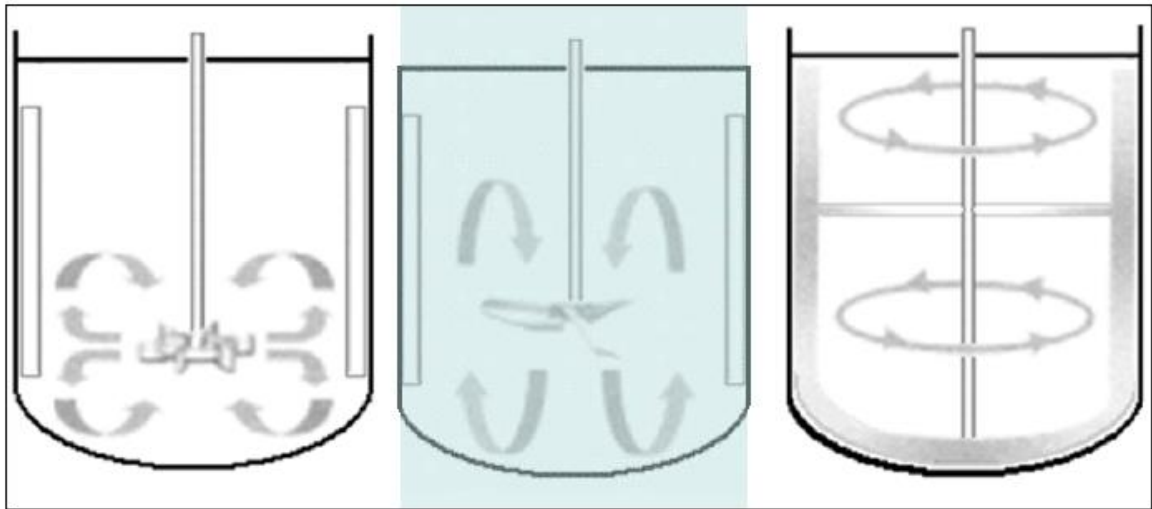
#### **4.3.2. Sistema de agitación**

El tipo de flujo que se produce en un tanque en agitación va a depender del tipo de impulsor, de las características del fluido, del tamaño, proporciones del depósito, del tipo de agitador y si lleva o no placas deflectoras.

La velocidad del fluido en cualquier punto del tanque tiene tres componentes, y el tipo de flujo predominante va a depender de las variaciones del movimiento y de la velocidad de estas.

La primera componente de velocidad es radial y actúa en dirección perpendicular al eje del impulsor. La segunda es longitudinal o axial y actúa en dirección paralela al eje. La tercera es tangencial o rotacional, y actúa en dirección tangencial a la trayectoria circular descrita por el impulsor (**Figura 8**).

El flujo será definido por el tipo de impulsor a utilizar. Generalmente para flujos radiales se utilizan impulsores de turbinas planas, para flujos axiales se utilizan hélices marinas con ángulos en sus palas no mayores a  $90^\circ$  y para flujos tangenciales (velocidades bajas) se utilizan impulsores de palas. En muchos casos, los impulsores producen varios tipos de flujo a la vez.

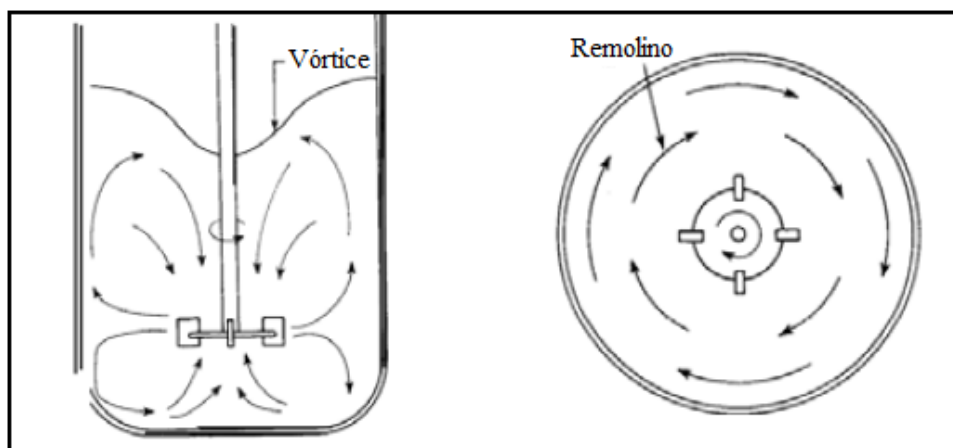


**Figura 8:** Tipos de flujo generados por los impulsosres.

Para el caso donde un agitador tiene un eje vertical, las componentes radial y tangencial se encuentran en un plano horizontal mientras que la componente axial es vertical. Las componentes radial y axial de un fluido son útiles ya que producen el flujo necesario para la mezcla. Cuando el eje es vertical y se encuentra ubicado en el centro del tanque, la componente tangencial de velocidad es generalmente perjudicial para la mezcla.

El flujo tangencial sigue una trayectoria circular alrededor del eje (**Figura 9**), lo que genera un vórtice en la superficie del líquido que, debido a la circulación en flujo laminar, da lugar a una estratificación permanente en diferentes niveles de sustancias sin mezclar, sin que exista flujo longitudinal de un nivel a otro. Si en el fluido hay presentes partículas sólidas, las corrientes circulatorias tienden a lanzar estas partículas contra la pared del depósito, debido a la fuerza centrífuga, desde donde caen acumulándose en la parte central del fondo del tanque. Por lo tanto, en vez de mezcla se produce la acción contraria, o sea, concentración. En el flujo circulatorio el líquido fluye según la dirección del movimiento de las palas del impulsor, de esta manera disminuye la velocidad relativa que existe entre las palas y el líquido, con lo cual se limita la potencia que puede ser absorbida por el líquido. En un tanque sin placas deflectoras, el flujo circulatorio predominará independiente del tipo de impulsor utilizado, tanto si el flujo es axial como radial.

Para velocidades de giro elevadas, la profundidad del vórtice puede ser tan grande que llegue a las paletas, dando lugar a que en el líquido se introduzca el gas que está encima de él, lo que normalmente debe evitarse.



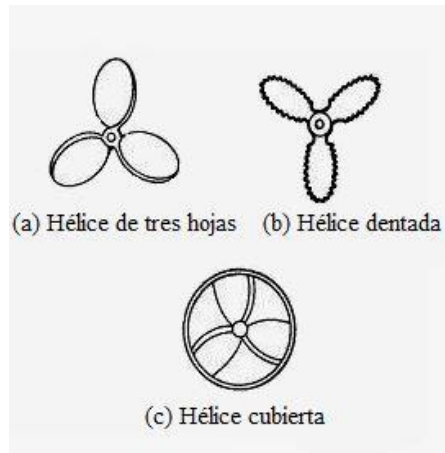
**Figura 9:** Formación de vórtice y remolino.

Como se ha dicho anteriormente, el tipo de flujo que tiene lugar en un tanque depende de varias características, siendo una de las más importantes el tipo de impulsor. Los **impulsores o agitadores** industriales son elementos utilizados de forma habitual en instalaciones en las que existen depósitos o tanques en los que se requiere de un movimiento rotatorio dentro del recipiente para la implementación de diversos procesos físicos. Estos elementos están accionados por un motor y pueden tener distintas configuraciones, siendo más comunes los agitadores de hélice, turbina y palas.

Los **agitadores de hélice** son agitadores de flujo axial que operan a velocidad elevada y se emplean para líquidos pocos viscosos. Los más pequeños, giran a toda la velocidad del motor, unas 1.150 ó 1.750 rpm mientras que los mayores giran de 400 a 800 rpm. El diámetro de los agitadores de hélice, raramente es mayor de 45 cm, independientemente del tamaño del tanque. En tanques de gran altura, pueden disponerse dos o más hélices sobre el mismo eje, moviendo el líquido generalmente en la misma dirección. A veces dos agitadores operan en sentido opuesto creando una zona de elevada turbulencia en el espacio comprendido entre ellos. Las palas de la hélice cortan o friccionan vigorosamente el líquido.

Del agitador parten corrientes de flujo que se mueven a través del líquido en una dirección determinada hasta que son desviadas por el fondo o las paredes del tanque. Debido a la persistencia de las corrientes de flujo, los agitadores de hélice son eficaces para tanques de gran tamaño.

En la **Figura 10** se muestran diferentes tipos de hélices.



**Figura 10:** Tipos de hélices.

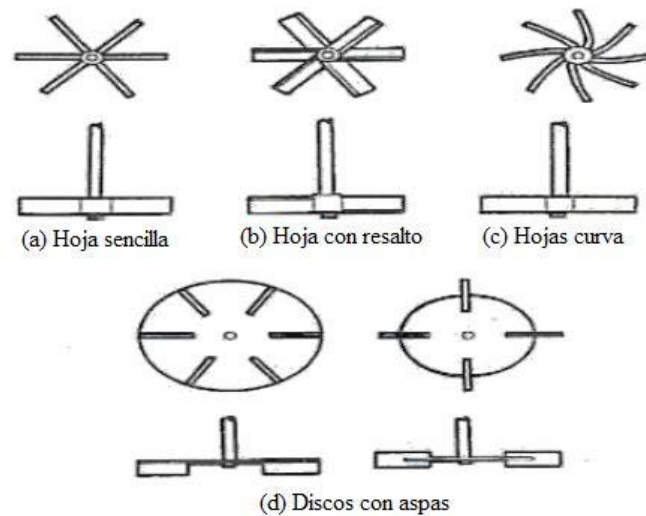
La mayoría de los **impulsores de turbina** poseen múltiples y cortas paletas, que giran con velocidades elevadas sobre un eje que va montado centralmente dentro del tanque. Las paletas pueden ser rectas o curvas e inclinadas o verticales.

Los agitadores de turbina son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades, en líquidos poco viscosos producen corrientes intensas, que se extienden por todo el tanque y destruyen las masas de líquido estancado.

En las proximidades del rodete existe una zona de corrientes rápidas, de alta turbulencia e intensos esfuerzos cortantes.

Las corrientes principales son radiales y tangenciales. Los componentes tangenciales dan lugar a vórtices y torbellinos, que se deben evitar por medio de placas deflectoras o un anillo difusor, con el fin de que el rodete sea más eficaz.

La **Figura 11** muestra diferentes tipos de hojas de los impulsores de turbina.

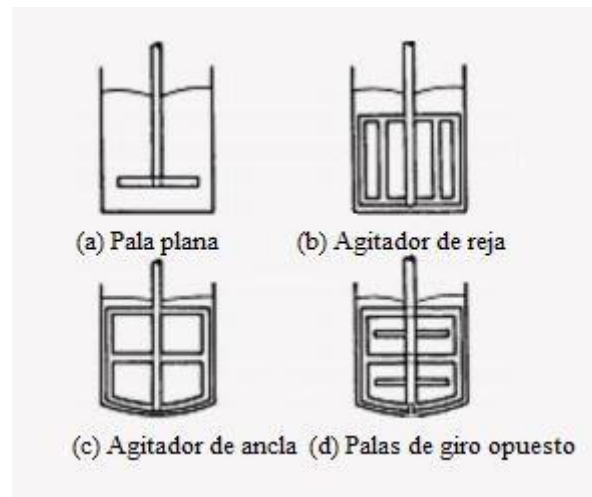


**Figura 11:** Tipos de hojas.

Los **agitadores de palas** son usados normalmente para problemas sencillos y están formados por una pala plana que gira sobre un eje vertical, siendo más comunes los agitadores formados por dos y tres palas. Las palas giran a velocidades bajas o moderadas en el centro del tanque, impulsando al líquido radial y tangencialmente, sin que exista movimiento vertical respecto del agitador, a menos que las paletas estén inclinadas.

Las corrientes de líquido que se originan se dirigen hacia la pared del tanque y después siguen hacia arriba o hacia abajo. Las palas también pueden adaptarse a la forma del fondo del tanque, de tal manera que en su movimiento rascan la superficie o pasan sobre ella con una holgura muy pequeña.

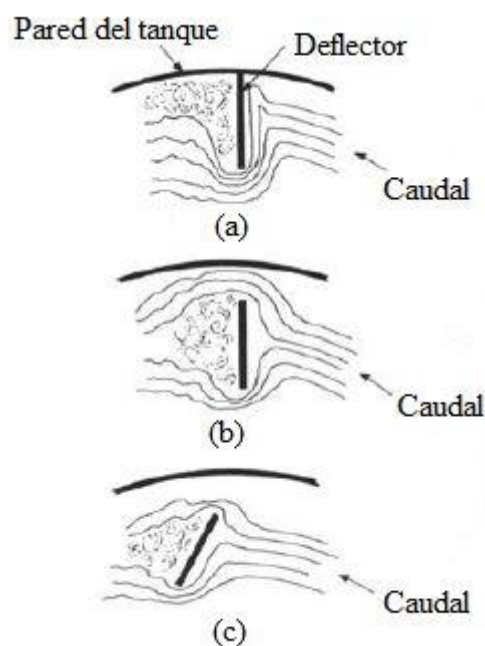
Los agitadores industriales de paletas giran a una velocidad comprendida entre 20 y 150 rpm, a velocidades muy bajas, un agitador de paletas produce una agitación suave, en un tanque sin placas deflectoras o cortacorrientes, las cuales son necesarias para velocidades elevadas. De lo contrario el líquido se mueve como un remolino que gira alrededor del tanque, con velocidad elevada pero con poco efecto de mezcla. En la **Figura 12** se pueden observar los diversos tipos de palas.



**Figura 12:** Tipos de palas

#### 4.3.3. Deflectores

Los deflectores son elementos soldados dentro del tanque que sirven para dirigir el flujo en el interior del tanque de agitación. Éstos previenen la formación de vórtices (remolinos) y la rotación de la masa líquida en su conjunto. Suelen estar adheridos o separados de la pared del tanque e incluso tener un ángulo de inclinación con respecto al eje del tanque. Se usan cuando existe un agitador mecánico. En la **Figura 13** se pueden observar las diferentes disposiciones de los deflectores en el tanque de mezcla.



**Figura 13:** Disposiciones de los deflectores.

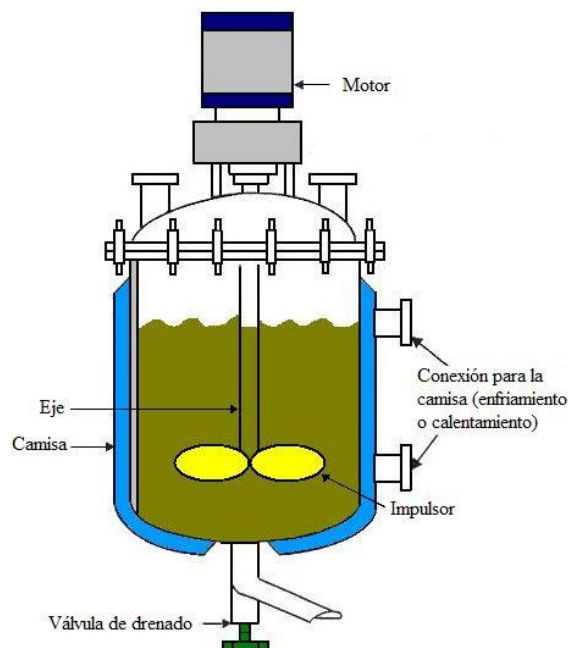
#### 4.3.4. Sistema de transferencia de calor

Los tanques de mezclado, por lo general, necesitan un sistema de transferencia de calor para alcanzar la temperatura deseada en el interior del mismo y así obtener una correcta homogeneización de los componentes que se encuentran en su interior.

Los sistemas de transmisión de calor más empleados para ser incorporados en el tanque mezclador son los siguientes:

- Camisa de calentamiento/enfriamiento.
- Serpentín de tubería.

Se denomina camisa al doble fondo o encamisado de un recipiente por el cual circula el fluido de servicio, siendo éste agua caliente o vapor de agua para el proceso de calentamiento, o agua fría, en la mayoría de los casos, para el proceso de enfriamiento. En este sistema, el contenido de la camisa no está en contacto con el contenido del tanque por lo que no existe el riesgo de contacto entre el fluido de servicio y el producto que se está elaborando, además, esto permite una rápida limpieza del recipiente. Asimismo, el uso de una camisa como sistema de transferencia de calor no limita ni el tipo de mezclador ni el producto a procesar. Por otra parte, el caudal, la temperatura y la velocidad de transmisión de calor pueden ser controlados adecuadamente. En la **Figura 14** se muestra un tanque de mezclado con una camisa de calentamiento/enfriamiento incorporada.



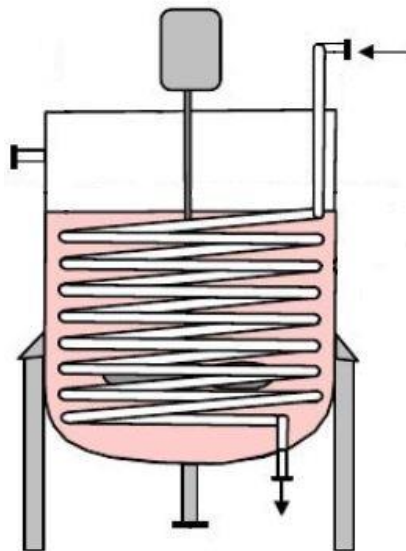
**Figura 14:** Tanque con camisa de calentamiento/enfriamiento incorporada.

Otra de las opciones empleadas para el calentamiento y/o enfriamiento del fluido del interior de un tanque son los serpentines. Este sistema consiste en un intercambiador simple formado por un tubo que se dobla en forma helicoidal y a través del cual fluye un fluido a una cierta temperatura.

El tubo se sumerge en un fluido que se encuentra a una cierta temperatura de forma que se produce el intercambio de calor entre el producto que se está elaborando y el fluido de servicio, debido a que este último se encontrará a una temperatura mayor o inferior, dependiendo si se trata de un proceso de calentamiento o enfriamiento respectivamente, al producto para que así se pueda dar la transferencia de calor.

A diferencia de la camisa, el serpentín sí puede llegar a interferir en el mezclado ya que se encuentra en el interior del tanque al igual que el agitador. Por lo general, por el interior del serpentín se introduce el fluido de enfriamiento o de calentamiento.

Debido a su bajo costo y rápida construcción se improvisa fácilmente con materiales abundantes en cualquier taller de mantenimiento. En la **Figura 15** se muestra un serpentín sumergido en el seno de un tanque.



**Figura 15:** Serpentín sumergido en el seno de un tanque.



## 5. Normas y referencias

### 5.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

A lo largo del proyecto se han empleado las siguientes normas:

- Código ASME para Caldera y Recipientes a presión (BPVC).
  - Sección VIII, División 1, Parte UG.
  - Sección VIII, División 1, Parte UW.
- UNE 9201:1964 Fondos bombeados.
- ANSI/ASME B106. 1M-1985 Design of Transmission Shafting.
- Norma DIN 28011. Torispherical heads.

### 5.2. Bibliografía y Webgrafía

A continuación se nombran los libros y páginas web de los cuales se ha extraído información para realizar este proyecto.

- *Operaciones unitarias en Ingeniería química 4ª ed.* McCABE Warren, SMITH Julian C., HARRIOTT Peter, Madrid, McGraw-Hill. (1991).
- *Operaciones básicas de transmisión de calor, N23.* A. Barba Juan. (2003).
- *Resistencia de Materiales.* J.M. Gere. 5ª edición. (2002).
- *Compendio de cálculo estructural para ingeniería mecánica y aeronáutica*, J. Massa, J. Giró, A. Giudici. Universidad Nacional de Córdoba y FCEfyN (Marzo, 2017).  
<https://es.scribd.com/document/350387758/Compendio-Calculo-Estructural-II>
- *Diseño de equipos e instalaciones, Tema 6 Depósitos y Recipientes de proceso.* (Marzo, 2003).  
[https://www.academia.edu/32929807/DISEÑO\\_DE\\_EQUIPOS\\_E\\_INSTALACIONES\\_Tema\\_6\\_DEPÓSITOS\\_Y\\_RECIPIENTES\\_DE\\_PROCESO](https://www.academia.edu/32929807/DISEÑO_DE_EQUIPOS_E_INSTALACIONES_Tema_6_DEPÓSITOS_Y_RECIPIENTES_DE_PROCESO)

- *Simulación dinámica de una camisa calefactora*, Enrique E. Tarifa, Sergio L. Martínez, Álvaro F. Núñez y Samuel Franco Domínguez. Revista Difusiones, ISSN 2314-1662, Num. 13. (Diciembre, 2017).  
[https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/73305/CONICET\\_Digital\\_Nro.36b23d5b-708e-4bb8-a5fd-bd5a3a0c059a\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/73305/CONICET_Digital_Nro.36b23d5b-708e-4bb8-a5fd-bd5a3a0c059a_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- *ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII: Rules for Construction of Pressure Vessels*. New York, NY. ASME. (2013).  
[https://www.academia.edu/31409827/2010\\_ASME\\_Boiler\\_and\\_Pressure\\_Vessel\\_Code\\_VIII\\_Rules\\_for\\_Construction\\_of\\_Pressure\\_Vessels](https://www.academia.edu/31409827/2010_ASME_Boiler_and_Pressure_Vessel_Code_VIII_Rules_for_Construction_of_Pressure_Vessels)
- *Gewölbte Böden: Klöpferform. Torispherical heads DIN 28011*. (1993).  
[https://kupdf.net/download/din-28011-1993\\_5a02dcabe2b6f59826d04a8f\\_pdf](https://kupdf.net/download/din-28011-1993_5a02dcabe2b6f59826d04a8f_pdf)
- *Design of a Laboratory Experiment on Heat Transfer in an Agitated Vessel*. N. Nasar, A. Mehrotra et al. Education for Chemical Engineers 6 (2011).  
<https://documents.pub/document/design-of-a-laboratory-experiment-on-heat-transfer-in-an-agitated-vessel.html>
- *Principios básicos y cálculos en ingeniería química*. David M. Himmelblau. Sexta Edición. (1997).  
<https://es.slideshare.net/filemmmissio/principios-bsicos-y-clculos-en-ingeniera-qumica-david-m-himmelblau-6ta-edicin-36812074>
- *Chemical Process Equipment: Selection and Design*. BUTTERWORTH-HEINEMANN SERIES IN CHEMICAL ENGINEERING. Walas, S. M. (1990).  
<https://imtk.ui.ac.id/wp-content/uploads/2014/02/Chemical-Process-Equipment-Selection-and-Design-by-Stanley-M.-Walas.pdf>
- *Fundamentos de reología*. Universidad de los Andes. Escuela de Ingeniería Química. O. Rojas, M.I. Briceño y J. Avendaño. (2012).  
<https://www.academia.edu/10497631/Reolog%C3%ADa>

- *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett. 8ª edición. (2008).  
<https://termoaplicadaunefm.files.wordpress.com/2015/03/disec3b1o-en-ingenierc3ada-mecc3a1nica-de-shigley-8-edicic3b3n-budynas.pdf>
- *Protección solar. Nuevos activos*. R. Bonet y A. Garrote. (Mayo 2011).  
<https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-proteccion-solar-nuevos-activos-X0212047X11205105>



## 6. Definiciones y abreviaturas

### Abreviaturas generales

<b>UV</b>	radiación ultravioleta
<b>UVA</b>	radiación solar ultravioleta A
<b>UVB</b>	radiación solar ultravioleta B
<b>PABA</b>	ácido p-amino benzoico
<b>FPS</b>	factor de protección solar
<b>P<sub>o</sub></b>	presión de operación
<b>P<sub>d</sub></b>	presión de diseño
<b>C<sub>D</sub></b>	coeficiente de arrastre
<b>S<sub>adm</sub></b>	tensión máxima admisible por el material
<b>S<sub>u</sub></b>	resistencia última a tracción del material
<b>E<sub>j</sub></b>	eficiencia de la junta en las soldaduras
<b>M<sub>O'</sub></b>	momento respecto al punto O'
<b>I</b>	momento de inercia
<b>S<sub>y</sub></b>	límite de fluencia del material
<b>N<sub>f</sub></b>	factor de seguridad
<b>m<sub>crema</sub></b>	masa de protector solar
<b>C<sub>pcrema</sub></b>	calor específico del protector solar
<b>μ<sub>crema</sub></b>	viscosidad del protector solar
<b>ρ<sub>crema</sub></b>	densidad del protector solar
<b>k<sub>crema</sub></b>	conductividad del protector solar
<b>C<sub>pagua</sub></b>	calor específico del agua
<b>μ<sub>agua</sub></b>	viscosidad del agua
<b>ρ<sub>agua</sub></b>	densidad del agua
<b>k<sub>agua</sub></b>	conductividad del agua
<b>k<sub>acero</sub></b>	conductividad del acero

**Abreviaturas de la estructura del tanque**

<b><math>V_t</math></b>	volumen total del tanque
<b><math>V_u</math></b>	volumen útil del tanque
<b><math>D_t</math></b>	diámetro del tanque
<b><math>r_t</math></b>	radio del tanque
<b><math>H</math></b>	altura total del tanque
<b><math>h</math></b>	altura de la virola cilíndrica
<b><math>h_L</math></b>	altura del líquido en la virola cilíndrica
<b><math>h_{\text{líquido}}</math></b>	altura del líquido en el tanque
<b><math>e</math></b>	espesor del tanque
<b><math>e_v</math></b>	espesor de la virola cilíndrica
<b><math>e_t</math></b>	espesor de la tapa
<b><math>e_f</math></b>	espesor del fondo
<b><math>R</math></b>	radio esférico interior de la tapa
<b><math>r</math></b>	radio de rebordeo interior de la tapa
<b><math>h_1</math></b>	pestaña de la tapa
<b><math>h_2</math></b>	flecha de la tapa
<b><math>h_3</math></b>	altura total de la tapa

**Abreviaturas del sistema de agitación**

<b><math>D_a</math></b>	diámetro del agitador
<b><math>g</math></b>	longitud de la pala
<b><math>W</math></b>	ancho de la pala
<b><math>E</math></b>	distancia del fondo del tanque al impulsor
<b><math>S</math></b>	distancia entre impulsores
<b><math>N</math></b>	velocidad del agitador en rev/min
<b><math>n</math></b>	velocidad del agitador en rev/s
<b><math>w</math></b>	velocidad del agitador en rad/s
<b><math>P</math></b>	potencia requerida por el agitador
<b><math>P'</math></b>	potencia requerida por el motor
<b><math>N_p</math></b>	número de potencia del agitador
<b><math>L_{eje}</math></b>	longitud del eje del agitador
<b><math>d_{eje}</math></b>	diámetro del eje del agitador
<b><math>e_{palas}</math></b>	espesor de las palas
<b><math>D_d</math></b>	diámetro del disco del impulsor
<b><math>F_p</math></b>	fuerza ejercida por el fluido a la pala
<b><math>A_p</math></b>	área de la pala que sufre la fuerza del fluido
<b><math>M_{O'}</math></b>	momento respecto al punto O'
<b><math>T_m</math></b>	torque del eje agitador

**Abreviaturas de las placas deflectoras**

$L_{\text{placa}}$	longitud de la placa deflector
$e_d$	espesor de las placas deflectoras
$J$	ancho de la placa deflector
$h_o$	distancia del fondo del tanque a la placa deflector
$f$	espacio entre la pared del tanque y la placa deflector
$D_s$	distancia de seguridad
$F_d$	fuerza que ejerce el fluido sobre la placa deflector
$h_{\text{sumergida}}$	sección de placa sumergida
$V_{\text{impulsión}}$	velocidad en la zona de impulsión
$M_{O''}$	momento respecto al punto O''

**Abreviaturas del sistema de calentamiento**

$\Delta T$	incremento de temperatura
$U_i$	coeficiente global de transmisión de calor referido al área externa
$h_i$	coeficiente individual de transmisión de calor referido al área interna
$h_e$	coeficiente individual de transmisión de calor referido al área externa
$q$	calor transferido
$A_i$	área interna del tanque
$A_o$	área externa del tanque
$A_m$	área media
$A_{ml}$	área media logarítmica
$A_{mg}$	área media geométrica
$A_{ev}$	área externa de la virola cilíndrica
$A_{iv}$	área interna de la virola cilíndrica
$d_i$	diámetro interno del tanque
$d_o$	diámetro externo del tanque
$D_i$	diámetro interno de la camisa
$D_o$	diámetro externo de la camisa



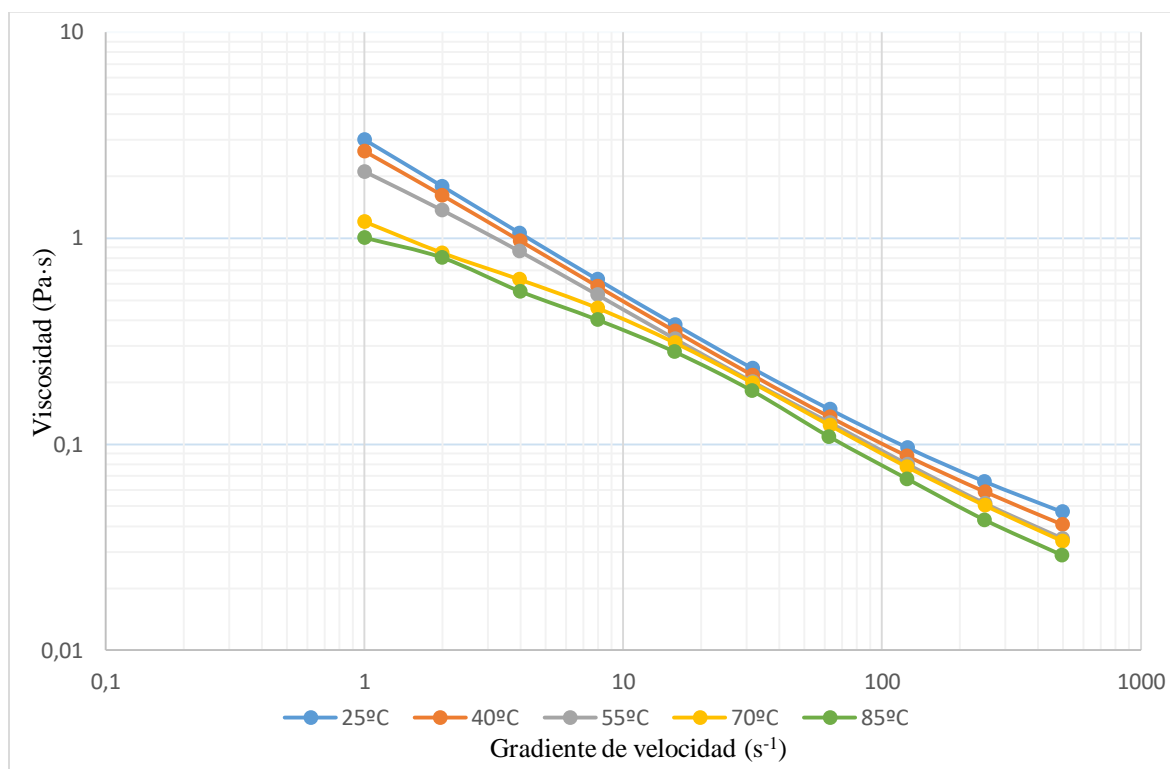
<b>D<sub>eq</sub></b>	diámetro equivalente
<b>Nu</b>	número de Nusselt
<b>Re</b>	número de Reynolds
<b>Pr</b>	número de Prandtl
<b><math>\gamma</math></b>	gradiente de velocidad
<b>v<sub>a</sub></b>	velocidad del agua en la camisa
<b>e<sub>c</sub></b>	espesor de la camisa
<b>E<sub>a</sub></b>	espacio anular de la camisa
<b>T<sub>crema</sub></b>	temperatura de la crema
<b>T<sub>IntSup</sub></b>	temperatura de la pared interna del tanque supuesta
<b>T<sub>media</sub></b>	temperatura media
<b>T<sub>Inr</sub></b>	temperatura de la pared interna del tanque calculada
<b>T<sub>Ext</sub></b>	temperatura de la pared externa del tanque calculada
<b>t</b>	tiempo de calentamiento
<b>Q<sub>va</sub></b>	caudal total de agua
<b>Q<sub>vi</sub></b>	caudal de agua en cada entrada
<b>v<sub>ae</sub></b>	velocidad del agua en cada entrada de la camisa
<b>v<sub>as</sub></b>	velocidad del agua en la salida de la camisa
<b>S</b>	sección de paso del agua
<b>d<sub>e</sub></b>	diámetro de las entradas de la camisa
<b>d<sub>s</sub></b>	diámetro de la salida de la camisa



## 7. Especificaciones de diseño

El tanque mezclador operará en discontinuo, y su capacidad será de 500L. Las condiciones de operación son las siguientes:

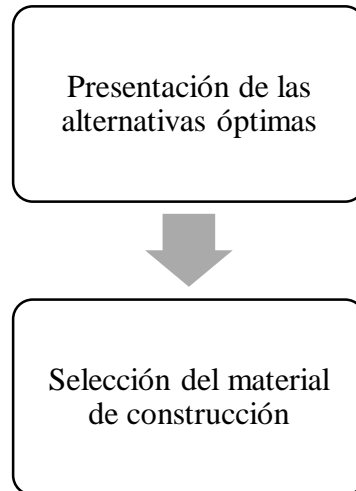
- Volumen de elaborado: 500 litros.
- Presión de operación: 0,6 bar.
- Temperatura de operación: calentamiento desde la temperatura de carga (25°C) hasta la temperatura adecuada para que se produzca el correcto tratamiento del filtro solar (85°C).
- Densidad media del elaborado: 1050 kg/m<sup>3</sup>. Se ha comprobado que en el intervalo de temperaturas de operación la variación es despreciable, por lo que se considerará constante durante el proceso.
- Calor específico del elaborado: 3864 J/kg·K, suministrado por el laboratorio de cosmética.
- Viscosidad del elaborado: para conocer la viscosidad del protector solar se ha efectuado un estudio reológico, a diferentes temperaturas, entre la de carga de los componentes al tanque (25°C) y la óptima para el tratamiento de los filtros solares (85°C) de forma que se ha comprobado que se trata de un fluido pseudoplástico y, por tanto, la viscosidad varía con la agitación. El comportamiento reológico de la muestra se ha determinado con un reómetro Bohlin CV-120 HR. Se ha empleado un elemento de medida de tipo cono placa con un diámetro de 40 milímetros. Se han determinado curvas de viscosidad en función del gradiente de velocidad en un intervalo de 1 a 500 s<sup>-1</sup>, con puntos distribuidos de forma logarítmica. Las curvas de viscosidad se han determinado a cinco temperaturas diferentes: 25°C, 40°C, 55°C, 70°C y 85°C. Los resultados obtenidos se presentan en la **Figura 16**.
- Fluido calefactor: agua a 95°C, disponible en las instalaciones de la empresa.



**Figura 16:** Curvas de viscosidad del protector solar a diferentes temperaturas.

## 8. Análisis de soluciones

El diseño de un equipo industrial es un proceso compuesto por varias etapas. En el esquema que se muestra en la **Figura 17** se pueden observar las pautas que se van a seguir a la hora de diseñar el tanque de mezclado.



**Figura 17:** Esquema de las etapas de diseño del tanque mezclador.

### 8.1. Selección de las alternativas óptimas

El tanque de mezclado debe cumplir tres funciones:

- **Almacenamiento:** el tanque debe servir como tanque de almacenamiento si el contenido de este no puede ser extraído inmediatamente después de su elaboración.
- **Agitación:** debe haber un mecanismo de agitación para conseguir la correcta homogeneización de los componentes que se introducen en el tanque.
- **Calentamiento:** debe existir un sistema de transferencia de calor para asegurar el correcto tratamiento de los componentes, principalmente el filtro solar.

En la **Tabla 1** se muestran diferentes alternativas para la función de almacenamiento.




**Tabla 1:** Alternativas del fondo del tanque.

	Almacenamiento
<b>Fondo semiesférico</b> (Alternativa 1)	
<b>Fondo plano</b> (Alternativa 2)	
<b>Fondo cónico</b> (Alternativa 3)	

En el **Anexo 1** se detalla, mediante el procedimiento de decisión multicriterio, el motivo por el cual se ha seleccionado el **fondo semiesférico** como la alternativa óptima para el fondo del tanque.

En la **Tabla 2** se muestran diferentes alternativas para el sistema de agitación. Las características de estos sistemas se han descrito en el apartado 3.3.2.

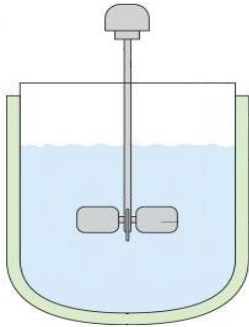
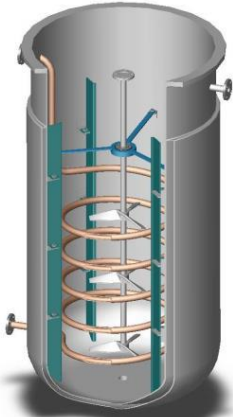
**Tabla 2:** Alternativas de tipos de impulsores.

	<b>Agitación</b>
<b>Impulsor de hélice</b> (Alternativa 1)	
<b>Impulsor de turbina</b> (Alternativa 2)	
<b>Impulsor de palas</b> (Alternativa 3)	

Aplicando el procedimiento de decisión multicriterio, que se detalla en el **Anexo 1**, se ha seleccionado el **impulsor de turbina** (alternativa 2) como la alternativa óptima del sistema de agitación.

Para seleccionar el sistema de transferencia de calor óptimo, se realiza la misma metodología que en los apartados anteriores, de modo que primero se proponen posibles alternativas para llevar a cabo el calentamiento del elaborado, éstas se muestran en la **Tabla 3**.

**Tabla 3:** Alternativas de sistema de transferencia de calor.

	Transferencia de calor
<b>Camisa calentamiento/enfriamiento</b> (Alternativa 1)	
<b>Serpentín</b> (Alternativa 2)	

La elección de la **camisa de calentamiento/enfriamiento** como la alternativa óptima se ha efectuado en base al procedimiento de decisión multicriterio que se encuentra detallado en el **Anexo 3**.



## **8.2. Selección del material de construcción de los elementos del mezclador**

La selección del material de construcción debe efectuarse en base a las siguientes razones:

- Por las condiciones de servicio en cuanto al efecto a la resistencia de los ataques químicos debido a los ácidos, ya que los protectores solares contienen en su fórmula química ácidos.
- Por la resistencia mecánica. Para evitar la formación de burbujas de aire en el productor final se necesita realizar el vacío, es por ello que el tanque deberá resistir a estas condiciones.

Los aceros austeníticos tienen una gran resistencia a la corrosión y se caracterizan por su excelente resistencia mecánica y resistencia a la oxidación a elevadas temperaturas. De entre estos, los más empleados para la construcción de tanques destinados a la elaboración de cosméticos y fármacos son el acero AISI 304 y el acero AISI 316.

El acero AISI 316 posee molibdeno en su estructura lo cual hace que su resistencia a la corrosión sea superior a la del acero AISI 304, por este motivo se empleará acero AISI 316 para la construcción de todos los elementos del tanque mezclador.



## 9. Resultados finales

Este apartado del proyecto está dedicado a la recopilación de los datos obtenidos a partir los cálculos que se han realizado en los anexos.

### 9.1. Estructura del tanque

En cuanto a la función de almacenamiento del tanque mezclador, la opción seleccionada a partir de los cálculos realizados en el **Anexo 1**, es el fondo de tipo semiesférico siendo éste el más adecuado para evitar la sedimentación y de fácil construcción y mantenimiento.

Por otra parte, el diseño del tanque consiste en determinar diversos parámetros como la altura, el diámetro, el espesor, etcétera. Los valores de los parámetros necesarios se recogen en la **Tabla 4**.

**Tabla 4:** Parámetros para el diseño de la estructura del tanque.

Variable	Descripción	Valor
$V_t$	Volumen total del tanque	650 l
$V_u$	Volumen útil del tanque	500 l
$D_t$	Diámetro del tanque	1 m
$H$	Altura total del tanque	1 m
$h_{\text{líquido}}$	Altura del líquido en el tanque	0,803 m
$P_o$	Presión de operación	60.000 Pa
$P_d$	Presión de diseño	256.149,6 bar
$e$	Espesor del tanque	0,005 m
$R$	Radio esférico interior de la tapa toriesférica	1,01 m
$r$	Radio de rebordeo interior de la tapa toriesférica	0,101 m
$h_1$	Pestaña de la tapa toriesférica	0,018 m
$h_2$	Flecha de la tapa toriesférica	0,193 m
$h_3$	Altura total exterior de la tapa toriesférica	0,216 m

## 9.2. Sistema de agitación

Para el tipo de impulsor del sistema de agitación se ha seleccionado en el **Anexo 1** un disco con 6 palas planas tipo Rushton por ser útiles para un amplio rango de viscosidades y ofrecer diferentes niveles de velocidad.

En la **Tabla 5** se muestran los parámetros necesarios para el diseño del sistema de agitación.

**Tabla 5:** Parámetros para el diseño del sistema de agitación.

Variable	Descripción	Valor
<b>D<sub>a</sub></b>	Diámetro del impulsor	0,33 m
<b>D<sub>d</sub></b>	Diámetro del disco	0,248 m
<b>g</b>	Longitud de la pala	0,083 m
<b>W</b>	Ancho de la pala	0,066 m
<b>E</b>	Distancia del fondo del tanque al impulsor	0,330 m
<b>S</b>	Distancia entre impulsores	0,330 m
<b>N</b>	Velocidad del agitador	240 rev/min
<b>P</b>	Potencia requerida por el agitador	1,236 kW
<b>P'</b>	Potencia requerida por el motor	1,454 kW
<b>L<sub>eje</sub></b>	Longitud del eje del agitador	1,000 m
<b>d<sub>eje</sub></b>	Diámetro del eje del agitador	0,030 m
<b>e<sub>palas</sub></b>	Espesor de las palas	0,003 m

El sistema de agitación necesita un motor eléctrico que transforme la energía eléctrica en movimiento giratorio y éste a su vez requiere de un reductor de velocidad que adecue su velocidad de salida a la velocidad que requiere el agitador.

La elección de ambos dispositivos se realiza a partir de la potencia requerida por el motor (**P'**) y la velocidad angular que necesita el agitador.

- $P' = 1,454 \text{ kW}$
- $N = 240 \text{ rpm}$

Con ambas características se han seleccionado el motor y el reductor de velocidad de la empresa Motovario.

1,50 kW				
n2 [rpm]	M2 [Nm]	Reductor	Tamaño Motor	Polos
369,0	36	BA42	80C <sup>(1)</sup>	2
355,1	37	BA52	80C/90S	2
297,0	44	BA52	80C/90S	2
264,5	50	BA42	80C <sup>(1)</sup>	2
242,8	54	BA52	90S	2
217,0	61	BA42	80C <sup>(1)</sup>	2
192,1	68	BA52	80C/90S	2

**Figura 18:** Modelo del motor eléctrico y del reductor de velocidades.

- Motor eléctrico: 90 S, 2 polos.
- Reductor: BA 52, ortogonal.

### 9.3. Placas deflectoras

Para garantizar la inexistencia de vórtices en el interior del tanque mezclador se instalarán 4 placas deflectoras en los laterales del tanque, situándose éstas paralelas dos a dos. Los parámetros de las placas se muestran en la **Tabla 6**.

**Tabla 6:** Parámetros para el diseño de las placas deflectoras.

Variable	Descripción	Valor
$L_{placa}$	Longitud de la placa deflector	0,650 m
$e_d$	Espesor de la placa deflector	0,003 m
$J$	Ancho de la placa deflector	0,100 m
$h_o$	Distancia del fondo del tanque a la placa deflector	0,240 m
$f$	Espacio entre la pared del tanque y la placa deflector	0,020 m

#### 9.4. Sistema de calentamiento

El sistema de calentamiento más óptimo para el tanque mezclador que se está diseñando es una camisa de calentamiento/enfriamiento, que en este caso se utilizará únicamente para calentar el producto que se encuentra en el interior del tanque mientras que, el enfriamiento se llevará a cabo por transferencia de calor al ambiente. La camisa ha sido seleccionada por su elevada eficacia y su fácil mantenimiento.

Los parámetros que se necesitan para diseñar este sistema se muestran en la **Tabla 7**.

**Tabla 7:** Parámetros para el diseño del sistema de calentamiento.

Variable	Descripción	Valor
<b>E</b>	Espacio anular	0,08 m
<b>e<sub>c</sub></b>	Espesor de la pared de la camisa	0,005 m
<b>h<sub>e</sub></b>	Coeficiente individual de transmisión de calor externo	1661,811 W/(m <sup>2</sup> ·K)
<b>h<sub>i</sub></b>	Coeficiente individual de transmisión de calor interno	Depende de T*
<b>U<sub>i</sub></b>	Coeficiente global de transmisión de calor interno	Depende de T*
<b>q</b>	Calor transferido	Depende de T*
<b>t</b>	Tiempo de calentamiento	47,7 min
<b>Q<sub>va</sub></b>	Caudal total de agua	0,082 m <sup>3</sup> /s
<b>Q<sub>vi</sub></b>	Caudal de agua por cada entrada	0,021 m <sup>3</sup> /s
<b>v<sub>ae</sub></b>	Velocidad del agua	1 m/s
<b>d<sub>e</sub></b>	Diámetro de cada entrada de la camisa	0,163 m
<b>v<sub>as</sub></b>	Velocidad del agua	1 m/s
<b>d<sub>s</sub></b>	Diámetro de salida de la camisa	0,323 m

\*Esta variable depende de la temperatura de la crema y de la temperatura de la pared.

## 10. Estudio de viabilidad económica

El estudio de viabilidad económica consiste en el análisis de los diferentes aspectos económicos del presente proyecto para determinar la rentabilidad de éste y así decidir su aprobación o rechazo.

El estudio de viabilidad económica se estructura en los siguientes apartados.

### 10.1. Resumen del presupuesto

En este apartado se muestra el coste de las diferentes partidas que forman parte del Presupuesto de Ejecución Material (PEM), el Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) y el valor del Presupuesto Total, descritos en el documento *Presupuesto*.

**Tabla 8:** Presupuesto de Ejecución Material (PEM).

Partida	Precio (€)
Elementos de acero inoxidable AISI 316	10.877,52
Elementos del sistema de agitación	864,15
Servicio de soldadura	1.280,00
<b>PEM: 13.021,67 €</b> <b>TRECE MIL VEINTIÚN EUROS CON SESENTA Y SIETE CÉNTIMOS</b>	

Una vez conocido el valor del PEM se obtiene el Presupuesto Total, teniendo en cuenta los porcentajes que corresponden a Gastos Generales (13% del PEM), Realización Proyecto (7% del PEC) y el IVA (21%), estos valores se muestran en la **Tabla 9**.

**Tabla 9:** Presupuesto total.

<b>Presupuesto de Ejecución Material (PEM)</b>	<b>13.021,67 €</b>
13% Gastos Generales	1.692,82€
<b>Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)</b>	<b>14.714,49 €</b>
7% Realización Proyecto	1.030,01 €
TOTAL	15.744,50 €
21% IVA	3.306,35 €
<b>TOTAL + IVA</b>	<b>19.050,85 €</b>

El Presupuesto de Ejecución por Contrata se corresponde con la Inversión Inicial del proyecto y su valor es de **CATORCE MIL CUATROCIENTOS NOVENTA Y UN EUROS CON NOVENTA Y NUEVE CÉNTIMOS**.

## **10.2. Cuenta de Explotación**

La Cuenta de Explotación comprende los ingresos anuales del proyecto y los gastos totales.

Teniendo en cuenta que el valor del dinero varía con los años, los gastos e ingresos de la empresa variarán con los años según la siguiente expresión:

$$\text{Característica} = \text{Característica}_{\text{Primer Año}} \cdot (1 + \text{IPC})^{\text{año}-1} \quad (1)$$

Donde *IPC* es el Índice de Precios de Consumo.

### **10.2.1. Ingresos**

Anualmente se producen 130.680 unidades de protector solar pero únicamente se venden 130.482 unidades por los siguientes motivos:

- En cada producción hay 1% de pérdidas de la cantidad total producida.
- Una vez terminada la producción se extraen 2 muestras de 30 ml.
  - Una muestra se lleva al laboratorio de control de calidad para ser analizada.



- La otra muestra se guarda en la muestroteca por si fuese necesario realizar ensayos posteriores en caso de que el producto perjudique a algún cliente.
- Dos unidades, ya envasadas, se guardan en la empresa.
- El producto sobrante de cada producción lo guarda la empresa.

Conociendo el número de unidades que se venden y que el precio de venta, a empresas, para las unidades con FPS 30 es de 3,90 € mientras que para el protector solar con FPS 50 es de 5,90 € se obtienen los ingresos, **Tabla 10**.

**Tabla 10:** Ingresos.

Unidades		Precio (€/unidad)
FPS 30	65.241	3,90
FPS 50	65.241	5,90
<b>TOTAL: 639.361,80 €/año</b>		

El precio de venta es bajo debido a que las unidades se venden a empresas que posteriormente venden el producto al público.

### **10.2.2. Gastos**

#### **Gastos directos**

Son los gastos que incurren directamente con la elaboración del producto como son las materias primas, los materiales directos, que son aquellos bienes transformados que sirven al producto final sin constituir parte del mismo, pero si son comercializados conjuntamente (en este caso los envases y las cajas) y la energía eléctrica consumida en el proceso.

Para conocer el coste de los gastos directos primero se debe conocer las cantidades de materias primas, materiales y electricidad que se necesitan anualmente para abastecer la demanda de protectores solares.

Teniendo en cuenta que se van a producir protectores solares con factor de protección solar (FPS) de 30 y de 50 y que la diferencia entre ambos es la cantidad de filtro solar en la fórmula química, el coste de una producción de protector solar dependerá de si se trata de protector solar con FPS 30 o con FPS 50.

A partir de una fórmula tipo de protector solar se determina el coste de una producción en función del FPS. En la **Tabla 11** se muestra la fórmula para cada factor de protección solar.

**Tabla 11:** Fórmula tipo en función del FPS.

Materia prima	%. FPS 30      FPS 50		Precio (€/kg)
	FPS 30	FPS 50	
Agua	c.s.p. 1*	c.s.p. 1*	0,002
Polímero	0,003	0,003	14,84
Humectante	0,060	0,060	17,69
Filtro solar	<b>0,170</b>	<b>0,250</b>	30,37
Solubilizante	0,060	0,060	15,77
Emoliente	0,040	0,040	16,77
Acondicionad.	0,030	0,030	35,60
Emulgente	0,030	0,030	18,15
Conservante	0,010	0,010	23,82
Agua	0,010	0,010	0,002
Regulador pH	0,005	0,005	24,10
Activo cosm.	0,020	0,020	40,25
Antioxidante	0,005	0,005	39,88
Esencia	0,003	0,003	58,30

\* c.s.p. 1: cantidad suficiente para 1.

A partir de los porcentajes de materias primas, referidos a la cantidad de protector solar que se quiere producir, se obtiene el coste de una producción dependiendo el factor de protección solar.

Para una producción de 525 kg (500 litros) de protector solar de FPS 30 el coste de materias primas es de 5.794,66 €.

Por otra parte, si se producen 525 kg de protector solar de FPS 50 el coste de materias primas es de 7.070,12 €.

Sabiendo que anualmente se va a llevar a cabo un total de 66 producciones de 525 kg de protector solar, siendo la mitad de FPS 30 y la otra mitad de FPS 50. A partir del número de producciones anuales se determina el coste total en materias primas siendo

191.223,79 €/año para las producciones de FPS 30 y 233.313,83 €/año para las de FPS 50. El gasto en materias primas anual tiene un valor de **424.537,62 €/año**.

Otro gasto directo son los envases y las cajas que se requieren para comercializar el producto. Como se ha mencionado anteriormente, se producen anualmente 130.680 unidades de protector solar, siendo todas envasadas en envases de 250 ml, ya sea para su venta o para ser guardadas en la empresa. Además, de cada producción se extraen 2 muestras de 30 ml, lo que supone un total de 132 envases de dicha capacidad.

A partir del número de unidades que se van a comercializar al año, 130.482 unidades, se calcula el número de cajas de cartón que se necesitará para transportar el producto envasado.

Teniendo en cuenta las medidas del envase (50 mm diámetro y 130 mm altura) las cajas serán de una medida estándar de 400×300×150 mm y se encajarán 48 unidades por caja. Puesto que de cada producción se obtienen 1.977 unidades para la venta se necesitarán 41 cajas de forma que se encajarán 1.968 unidades siendo las restantes encajadas junto con las de la siguiente producción.

Conocido el número de envases y de cajas necesarias para comercializar el protector solar, se calcula el precio de dichos materiales.

- El precio de un envase de 250 ml es de 0,192 €, por tanto el coste total son 100.362,24 €/año.
- El precio de un envase de 30 ml es de 0,114 € por lo que el coste anual son 15,05 €/año.
- El precio de una caja es de 0,174 € y por tanto el coste total en cajas es de 473,00 €/año.

Finalmente, el coste total en materiales es de **100.850,29 €/año**.

Por último se debe considerar el coste de la energía eléctrica consumida por el motor eléctrico.

Siendo el coste promedio de la energía eléctrica en España 0,1198 €/kWh y el tiempo que el motor está en operación dos horas y media, el gasto del motor eléctrico anual es de **29,65 €**.

El resumen de los gastos directo del presente proyecto se muestra en la **Tabla 12**.

**Tabla 12:** Gastos directos.

<b>Gasto</b>	<b>Coste (€/año)</b>
Materias primas	424.537,62
Materiales (envases y cajas)	100.850,29
Energía consumida por el motor	29,65
<b>TOTAL: 525.417,56 €/año</b>	

### **Gastos indirectos**

En los gastos indirectos se incluyen los costes de mantenimiento y la proporción del salario anual del operario/a encargado de llevar a cabo la producción del protector solar. Además, puesto que el tanque diseñado en este proyecto forma parte de la línea de producción de protectores solares en la que se encuentran otros tanques mezcladores, el 15% de los ingresos generados con las producciones realizadas en este tanque se destinan al pago de gastos como: electricidad consumida por la empresa, sueldos de los trabajadores de las distintas áreas, marketing, agua corriente consumida, etcétera.

Por lo que respecta al mantenimiento del tanque, éste se realiza cada trimestre y tiene un coste de 300 €, siendo en el coste anual de **1.200 €/año**.

Por otra parte, para conocer la parte del salario del operario/a que corresponde a las horas dedicadas a la producción de protector solar mediante el tanque mezclador que se quiere diseñar, se debe tener en cuenta que durante los meses de enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre se realizará 1 producción semanal mientras que el resto de meses se efectuaran 2 producciones por semana debido a que la demandas en estos últimos es mayor por su proximidad o pertenencia a la estación de verano. Además, en agosto y diciembre la empresa cierra dos semanas, cada mes, por vacaciones por lo que esas cuatro semanas no habrá producciones.

El coste en salario que corresponde a las horas anuales dedicadas a la producción de protector solar, teniendo en cuenta que el sueldo es aproximadamente 1.900 € brutos, es de **5.699,43 €/año**.

Por último, la cantidad que corresponde al 15% de los ingresos y que está destinada a pagar gastos de la empresa es igual a 95.904,27 €/año.

El resumen de los gastos indirectos se muestra en la **Tabla 13**.

**Tabla 13:** Gastos indirectos.

<b>Gasto</b>	<b>Coste (€/año)</b>
Mantenimiento trimestral	1.200,00
Salario operario/a	5.699,43
15% Ingresos (Gastos empresa)	95.904,27
<b>TOTAL: 102.803,70 €/año</b>	

### 10.2.3. Amortización

La amortización se puede obtener a partir del cociente entre inversión inicial y el número de años requeridos para amortizar el equipo. Tratándose de un equipo industrial, la amortización de éste no será superior a 10 años debido a que gracias a las nuevas tecnologías los equipos industriales mejoran con el paso de los años de modo que las empresas renuevan los equipos antes de que éstos lleguen a quedar obsoletos.

La amortización para el primero año se calcula a continuación, siendo  $I_0$  la inversión inicial.

$$\text{Amortización} = \frac{I_0}{\text{tiempo de amortización}} = \frac{14.714,49}{10} = \mathbf{1.471,45 \text{ €/año}}$$

### Gastos Totales

Los gastos totales incluyen los gastos directos e indirectos, la amortización y los gastos del primer año, que son un 10% de la inversión inicial y corresponden a los gastos que se generan únicamente al inicio, como pueden ser ensayos realizados al tanque para comprobar su resistencia, ensayos realizados al doble fondo para asegurarse de que no sufre pérdidas, etcétera.

**Tabla 14:** Gastos totales.

<b>Gasto</b>	<b>Coste (€/año)</b>
Gastos directos	525.417,56
Gastos indirectos	102.803,70
Amortización	1.471,45
Gastos del primer año	1.471,45
<b>TOTAL: 631.164.16 €/año</b>	

#### 10.2.4. Beneficios

Para determinar los beneficios de la empresa, debe tenerse en cuenta que hay 2 tipos de beneficios: beneficios brutos (Bb) y beneficios netos (Bn).

Los beneficios brutos se calculan a partir de la diferencia entre los ingresos y los gastos totales, sin tener en cuenta la amortización:

$$\mathbf{Bb = Ingresos - Gastos Totales - Amortización = 639.361,80 - 631.164,16 - 1.471,45 = 6.726,19 \text{ €/año}}$$

Mientras que los beneficios netos son el resultado de la diferencia entre los beneficios brutos y los impuestos. Los impuestos se pueden cifrar en un 25% de los beneficios brutos.

$$\mathbf{Bn = Bb - 0,25 \cdot Bb = 6.726,19 - 0,25 \cdot 6.726,19 = 5.044,64 \text{ €/año}}$$

#### 10.2.5. Flujo de Caja

El flujo de caja (FC) es un indicador de la liquidez de una empresa ya que hace referencia a las entradas y salidas netas de dinero. Su valor se determina a partir de la suma de los beneficios netos y la amortización.

$$\mathbf{FC = Bn + Amortización = 5.044,64 + 1.471,45 = 6.516,09 \text{ €/año}}$$

Se debe tener en cuenta que el valor del dinero varía con los años por ello, a partir de los valores obtenidos el primer año para cada característica se obtiene el valor de éstas para cada año del horizonte de inversión, 10 años, mediante la ecuación (1).

**Tabla 15:** Cuenta de explotación.

Año (n)	Gastos directos (€)	Gastos indirectos (€)	Amortización (€)	Gastos Totales (€)	Ingresos (€)	Beneficios Brutos (€)	Beneficios netos (€)	Flujo Caja (€)	FC/(1+ir) <sup>n</sup>
1	525.417,56	102.803,70	1.471,45	631.164,16	639.361,80	6.726,19	5.044,64	6.516,09	6.413,48
2	541.298,31	105.910,94	1.515,92	650.241,10	658.686,51	6.929,49	5.197,12	6.713,04	6.503,27
3	549.417,78	107.499,61	1.538,66	659.994,71	668.566,81	7.033,43	5.275,08	6.813,74	6.496,87
4	557.659,05	109.112,10	1.561,74	669.894,63	678.595,31	7.138,94	5.354,20	6.915,94	6.490,48
5	566.023,93	110.748,78	1.585,17	679.943,05	688.774,24	7.246,02	5.434,51	7.019,68	6.484,09
6	574.514,29	112.410,01	1.608,95	690.142,20	699.105,85	7.354,71	5.516,03	7.124,98	6.477,71
7	583.132,01	114.096,16	1.633,08	700.494,33	709.592,44	7.465,03	5.598,77	7.231,85	6.471,33
8	591.878,99	115.807,61	1.657,58	711.001,75	720.236,33	7.577,01	5.682,75	7.340,33	6.464,96
9	600.757,17	117.544,72	1.682,44	721.666,77	731.039,87	7.690,66	5.768,00	7.450,44	6.458,60
10	609.768,53	119.307,89	1.707,68	732.491,77	742.005,47	7.806,02	5.854,52	7.562,19	6.452,24
<b>N = 10</b>								<b>7.068,83 €</b>	<b>64.713,03 €</b>
<b>FC</b>									<b>64.713,03 €</b>
$\sum_{n=1}^N \frac{FC_n}{(1+ir)^n}$									



### 10.3. Estudio de rentabilidad

En este apartado se va a analizar la rentabilidad del proyecto a partir de determinar los indicadores financieros: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) y Período de Retorno (PR).

#### 10.3.1. Valor Actual Neto (VAN)

El VAN es un indicador financiero para determinar la viabilidad de un proyecto. Si el valor del VAN es negativo, el proyecto no resulta viable ya que produce pérdidas; si es nulo, el proyecto no genera pérdidas pero tampoco ganancias y si es positivo, el proyecto genera ganancias por lo que es viable llevarlo a cabo.

Para calcular el valor del VAN se emplea la ecuación (2):

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{FC_n}{(1+i_r)^n} \quad (2)$$

Donde:

- $I_0$ : inversión inicial, igual a 14.714,49 €.
- $N$ : años del horizonte de inversión, 10 años.
- $n$ : cada año del horizonte de inversión.
- $FC_n$ : flujo de caja generado cada año.
- $i_r$ : interés real. Se obtiene del cociente entre  $i_n$  (interés nominal) e IPC (Índice de precios de Consumo). Para un  $i_n = 4\%$  y un  $IPC = 2,5\%$  se obtiene un  $i_r = 1,6\%$ .

Siendo el valor del sumatorio 63.851,46, el valor del VAN, al cabo de 10 años es de:

$$VAN = -14.714,49 + 63.851,46 = 49.136,97 \text{ €}$$

#### 10.3.2. TIR (Tasa Interna de Rentabilidad)

El TIR es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Este indicador se encarga de medir la rentabilidad de una inversión.

Para obtener el TIR hay que encontrar el valor del interés real ( $i_r$ ) que hace que el VAN sea nulo. Este valor será el TIR. Para que el proyecto se considere rentable, el TIR debe ser positivo y superior al interés nominal ( $i_n$ ).

Para calcular el TIR debe aplicarse la ecuación (3).

$$0 = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{FC_n}{(1+i_r)^n} \quad (3)$$

Para este proyecto, el valor de  $i_r$  que da lugar a un VAN nulo es 43%.

$$\mathbf{TIR = 43\%}$$

### 10.3.3. PR (Período de Retorno)

El PR es el tiempo que transcurre hasta que la empresa recupera la inversión inicial ( $I_0$ ). Éste se calcula a partir del cociente entre la inversión inicial y el promedio del flujo de caja, ecuación (4).

$$PR = \frac{I_0}{\overline{FC}} \quad (4)$$

Siendo  $\overline{FC} = 7.068,83$ , el período de retorno resulta:

$$\mathbf{PR = \frac{14.714,49}{7.068,83} = 2,08 \text{ años}}$$

### 10.4. Conclusión

A partir del valor obtenido para el VAN = 49.136,97 € se puede concluir que el proyecto es viable debido a que es muy superior a 0.

Respecto al TIR = 43%, éste es superior al interés nominal,  $i_n = 4\%$ , se obtiene un valor elevado de TIR puesto que la inversión inicial es muy pequeña.

Por último, el PR = 2,08 años es un valor acorde a la pequeña inversión que conlleva este proyecto.

**Tabla 16:** Resumen indicadores financieros.

VAN	TIR	PR
49.136,97 €	43%	2,08 años

### **3. ANEXOS**



## ÍNDICE

Anexo 1. Selección de las alternativas óptimas .....	7
Anexo 2. Dimensionamiento del tanque mezclador .....	15
Anexo 3. Información necesaria para el cálculo de los espesores .....	23
Anexo 4. Sistema de agitación .....	27
Anexo 5. Placas deflectoras.....	35
Anexo 6. Sistema de calentamiento .....	41



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Esquema representativo del cuerpo del tanque. ....	15
<b>Figura 2:</b> Esquema cabezal semiesférico. ....	18
<b>Figura 3:</b> Esquema cabezal toriesférico. ....	18
<b>Figura 4:</b> Dimensiones de diseño de un cabezal toriesférico. ....	19
<b>Figura 5:</b> Dimensiones del agitador y las placas deflectoras. ....	21
<b>Figura 6:</b> Categorías de las uniones soldadas. ....	24
<b>Figura 7:</b> Tipos de uniones soldadas. ....	25
<b>Figura 8:</b> Número de potencia $N_p$ frente a $Re$ para impulsores de turbina. ....	28
<b>Figura 9:</b> Esquema impulsor. ....	29
<b>Figura 10:</b> $C_D$ frente al cociente entre el ancho y la longitud. ....	30
<b>Figura 11:</b> Esquema del tanque y las placas deflectoras. ....	35
<b>Figura 12:</b> Punto de aplicación de la fuerza que actúa sobre los deflectores. ....	36
<b>Figura 13:</b> $C_D$ frente al cociente entre el ancho y la longitud. ....	37
<b>Figura 13:</b> Diámetros del tanque mezclador y la camisa de calentamiento. ....	43
<b>Figura 14:</b> Representación viscosidad frente a gradiente de velocidad ( $T=25^{\circ}C$ ). ....	47
<b>Figura 15:</b> Representación de la viscosidad frente a $1/T$ . ....	48
<b>Figura 16:</b> Representación de $U_i$ frente a $T_{crema}$ . ....	55





## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Importancia de las características para la selección del fondo. ....	7
<b>Tabla 2:</b> Selección de la alternativa óptima. ....	9
<b>Tabla 3:</b> Importancia de las características para la selección del impulsor.....	10
<b>Tabla 4:</b> Selección de la alternativa óptima. ....	11
<b>Tabla 5:</b> Importancia de las características para la selección del sistema calefactor.....	12
<b>Tabla 6:</b> Selección de la alternativa óptima. ....	14
<b>Tabla 7:</b> Propiedades mecánicas para los aceros inoxidable según EN 10088-2.....	23
<b>Tabla 8:</b> Valores admisibles de la eficiencia de junta para uniones soldadas. ....	26
<b>Tabla 9:</b> Valores de viscosidad para cada gradiente de velocidad ( $T=25^{\circ}\text{C}$ )*.....	46
<b>Tabla 10:</b> Valores de viscosidad para cada temperatura (a $60,23\text{ s}^{-1}$ ).....	48
<b>Tabla 11:</b> Cálculo de $h_i$ y $U_i$ y $q$ .....	54



## Anexo 1. Selección de las alternativas óptimas

### Selección del tipo de fondo

A continuación, mediante la decisión multicriterio, se seleccionará la alternativa óptima para el diseño del fondo del tanque.

El primer paso es ordenar las características a tener en cuenta en la selección del tipo de fondo por grado de importancia. Las características elegidas para llevar a cabo la decisión han sido:

- Facilidad de mezclado según la geometría del fondo del tanque (**Mezclado**).
- Facilidad de llevar a cabo el mantenimiento y la limpieza del tanque (**M/L**).
- Simplicidad del diseño del tanque (**Diseño**).
- Facilidad de construcción del fondo del tanque (**Construcción**) y por último.
- Estética del tanque (**Estética**).

En la **Tabla 1** se encuentran ordenadas las anteriores características de izquierda a derecha por grado de importancia, siendo el mezclado la característica más importante y la estética la de menor importancia. En esta tabla se asigna un valor a cada característica para conocer cuánto más importante son unas que las otras, esto quiere decir:

- Mezclado es 3 veces más importante que M/L, 5 veces más importante que Diseño, 7 veces más importante que Construcción y 9 veces más importante que Estética, este proceso se realiza con cada una de las características.

**Tabla 1:** Importancia de las características para la selección del fondo.

	<b>Mezclado</b>	<b>M/L</b>	<b>Diseño</b>	<b>Construcción</b>	<b>Estética</b>
<b>Mezclado</b>	1	3	5	7	9
<b>M/L</b>	1/3	1	3	5	7
<b>Diseño</b>	1/5	1/3	1	3	5
<b>Construcción</b>	1/7	1/5	1/3	1	3
<b>Estética</b>	1/9	1/7	1/5	1/3	1

A continuación, se calcula el peso que tiene cada característica:

$$w_{\text{mezcla}} = (1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 9)^{1/5} = 3,94$$

$$w_{\text{M/L}} = \left(\frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7\right)^{1/5} = 2,04$$

$$w_{\text{diseño}} = \left(\frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 3 \cdot 5\right)^{1/5} = 1,00$$

$$w_{\text{construcción}} = \left(\frac{1}{7} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 3\right)^{1/5} = 0,49$$

$$w_{\text{estética}} = \left(\frac{1}{9} \cdot \frac{1}{7} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1\right)^{1/5} = 0,25$$

$$w_{\text{total}} = \sum w_i = 3,94 + 2,04 + 1 + 0,49 + 0,25 = 7,72$$

Los valores obtenidos anteriormente se normalizan dividiendo cada uno de éstos por el peso total.

$$W_{\text{mezcla}} = \frac{w_{\text{mezcla}}}{w_{\text{total}}} = \frac{3,94}{7,72} = 0,51$$

$$W_{\text{M/L}} = \frac{w_{\text{M/L}}}{w_{\text{total}}} = \frac{2,04}{7,72} = 0,26$$

$$W_{\text{diseño}} = \frac{w_{\text{diseño}}}{w_{\text{total}}} = \frac{1}{7,72} = 0,13$$

$$W_{\text{construcción}} = \frac{w_{\text{construcción}}}{w_{\text{total}}} = \frac{0,49}{7,72} = 0,06$$

$$W_{\text{estética}} = \frac{w_{\text{estética}}}{w_{\text{total}}} = \frac{0,25}{7,72} = 0,03$$

En la **Tabla 2** se determina, a criterio de la persona responsable del diseño, un valor para cada característica dependiendo del tipo de fondo. Este valor se multiplica por el peso normalizado de cada característica. El mayor valor, resultante de la suma de la segunda columna de cada tipo de fondo, dará lugar al tipo de fondo que se diseñará.

**Tabla 2:** Selección de la alternativa óptima.

	Semiesférico		Plano		Cónico	
	valor	valor·W <sub>i</sub>	valor	valor·W <sub>i</sub>	valor	valor·W <sub>i</sub>
<b>Mezclado</b>	8	4,08	4	2,04	2	1,02
<b>Mantenimiento</b>	6	1,56	6	1,56	4	1,04
<b>Diseño</b>	6	0,78	8	1,04	4	0,52
<b>Construcción</b>	4	0,24	6	0,36	2	0,12
<b>Estética</b>	8	0,24	6	0,18	6	0,18
		<b>6,90</b>		5,18		2,88

A partir de la **Tabla 2** se obtiene que el fondo semiesférico es la alternativa óptima para el diseño del fondo del tanque. Este fondo permite una mejor agitación en el tanque y evita la sedimentación de la mezcla. En cuanto al diseño y la construcción, el fondo semiesférico aunque es más complejo se considera de fácil construcción. Estos motivos hacen que éste sea el seleccionado para el diseño del tanque.

### **Selección del tipo de impulsor para el sistema de agitación**

El proceso para seleccionar el tipo de sistema de agitación es el mismo que se ha empleado en la selección del tipo de fondo, la decisión multicriterio.

Las características seleccionadas para llevar a cabo la elección del tipo de impulsor para el sistema de agitación son las siguientes:

- Intervalo de viscosidad para el cual es apto el impulsor (**Viscosidad**).
- Velocidad de giro (**Velocidad**).
- Capacidad de cizalladura del impulsor (**Cizalladura**).

Primero, en la **Tabla 3** se ordenan las características de mayor a menor importancia de izquierda a derecha y se asignan diferentes valores según el grado de importancia entre ellas.

**Tabla 3:** Importancia de las características para la selección del impulsor.

	<b>Viscosidad</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Cizalladura</b>
<b>Viscosidad</b>	1	3	5
<b>Velocidad</b>	1/3	1	3
<b>Cizalladura</b>	1/5	1/3	1

A continuación, se calcula el peso que tiene cada característica:

$$w_{\text{viscosidad}} = (1 \cdot 3 \cdot 5)^{1/3} = 2,47$$

$$w_{\text{velocidad}} = \left(\frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 3\right)^{1/3} = 1,00$$

$$w_{\text{cizalladura}} = \left(\frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1\right)^{1/3} = 0,41$$

$$w_{\text{total}} = \sum w_i = 2,47 + 1 + 0,41 = 3,88$$

Los valores anteriores se normalizan:

$$W_{\text{viscosidad}} = \frac{w_{\text{viscosidad}}}{w_{\text{total}}} = \frac{2,47}{3,88} = 0,64$$

$$W_{\text{velocidad}} = \frac{w_{\text{velocidad}}}{w_{\text{total}}} = \frac{1}{3,88} = 0,26$$

$$W_{\text{cizalladura}} = \frac{w_{\text{cizalladura}}}{w_{\text{total}}} = \frac{0,41}{3,88} = 0,11$$

Por último, se selecciona la alternativa óptima (**Tabla 4**).

**Tabla 4:** Selección de la alternativa óptima.

	<b>Hélice</b>		<b>Turbina</b>		<b>Palas</b>	
	<b>valor</b>	<b>valor·W<sub>i</sub></b>	<b>valor</b>	<b>valor·W<sub>i</sub></b>	<b>valor</b>	<b>valor·W<sub>i</sub></b>
<b>Viscosidad</b>	2	1,28	8	5,12	8	5,12
<b>Velocidad</b>	6	1,56	8	2,08	6	1,56
<b>Cizalladura</b>	2	0,22	6	0,66	8	0,88
		3,06		<b>7,86</b>		7,56

A partir de la **Tabla 4** se obtiene que el impulsor de turbina es la opción más adecuada para el sistema de agitación del tanque. Este tipo de impulsor es eficaz en un amplio rango de viscosidades, permite alcanzar velocidades medias o elevadas y sus paletas proporcionan una cizalladura eficaz.

### **Selección del tipo de sistema de calentamiento**

Siguiendo el mismo proceso que el empleado en la selección del tipo de fondo y sistema de agitación, se seleccionan las características para realizar la selección más óptima siendo estas las siguientes:

- Eficiencia en cuanto a la transferencia de calor (**Eficiencia**).
- Grado de interferencia con el sistema de agitación (**Interferencia**).
- Coste del sistema de calefacción (**Coste**).
- Mantenimiento y limpieza (**M/L**).
- Facilidad de diseño (**Diseño**).
- Facilidad de construcción (**Construcción**).

Las características anteriores se ordenan por orden de importancia, en la **Tabla 5**, y se les asigna un valor según el grado de importancia entre ellas.

**Tabla 5:** Importancia de las características para la selección del sistema calefactor.

	<b>Eficiencia</b>	<b>Interferencia</b>	<b>Coste</b>	<b>M/L</b>	<b>Diseño</b>	<b>Construcción</b>
<b>Eficiencia</b>	1	2	3	4	5	6
<b>Interferencia</b>	1/2	1	2	3	4	5
<b>Coste</b>	1/3	1/2	1	2	3	4
<b>M/L</b>	1/4	1/3	1/2	1	2	3
<b>Diseño</b>	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2
<b>Construcción</b>	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1

Se calculan los pesos de cada característica.

$$w_{\text{eficiencia}} = (1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6)^{1/6} = 2,99$$

$$w_{\text{interferencia}} = \left(\frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5\right)^{1/6} = 1,98$$



$$w_{\text{coste}} = \left( \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \right)^{1/6} = 1,26$$

$$w_{\text{M/L}} = \left( \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3 \right)^{1/6} = 0,79$$

$$w_{\text{diseño}} = \left( \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 2 \right)^{1/6} = 0,51$$

$$w_{\text{construcción}} = \left( \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 \right)^{1/6} = 0,33$$

$$w_{\text{total}} = \sum w_i = 2,99 + 1,98 + 1,26 + 0,79 + 0,51 + 0,33 = 7,86$$

Se obtienen los valores de los pesos normalizados.

$$W_{\text{eficiencia}} = \frac{w_{\text{eficiencia}}}{w_{\text{total}}} = \frac{2,99}{7,86} = 0,38$$

$$W_{\text{interferencia}} = \frac{w_{\text{interferencia}}}{w_{\text{total}}} = \frac{1,98}{7,86} = 0,25$$

$$W_{\text{coste}} = \frac{w_{\text{coste}}}{w_{\text{total}}} = \frac{1,26}{7,86} = 0,16$$

$$W_{\text{M/L}} = \frac{w_{\text{M/L}}}{w_{\text{total}}} = \frac{0,79}{7,86} = 0,10$$

$$W_{\text{diseño}} = \frac{w_{\text{M/L}}}{w_{\text{total}}} = \frac{0,51}{7,86} = 0,07$$

$$W_{\text{construcción}} = \frac{w_{\text{construcción}}}{w_{\text{total}}} = \frac{0,33}{7,86} = 0,04$$

Por último, se selecciona la alternativa óptima. (**Tabla 6**).

**Tabla 6:** Selección de la alternativa óptima.

	Camisa		Serpentín	
	valor	valor·W <sub>i</sub>	valor	valor·W <sub>i</sub>
<b>Eficiencia</b>	8	3,04	8	3,04
<b>Interferencia</b>	8	2,00	2	1,00
<b>Coste</b>	6	0,96	6	0,96
<b>M/L</b>	6	0,60	2	0,20
<b>Diseño</b>	6	0,42	6	0,42
<b>Construcción</b>	6	0,24	6	0,24
		<b>7,26</b>		5,86

La alternativa seleccionada para llevar a cabo la transferencia de calor es la camisa de calentamiento debido a su eficiencia, a que no interfiere con el producto que se encuentra en el interior del tanque y a su facilidad de mantenimiento, diseño y construcción.

## Anexo 2. Dimensionamiento del tanque mezclador

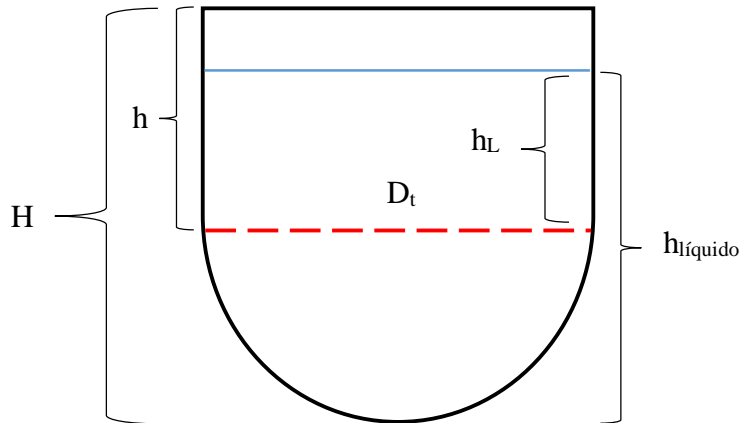
En este anexo se van a dimensionar los elementos que componen el tanque mezclador y para ello, previamente se especifican varios parámetros.

- Diámetro interno del tanque ( $D_t$ ) = 1 metro  $\rightarrow$  Radio interno del tanque ( $r_t$ ) = 0,5 metros
- Presión de operación ( $P_o$ ) = 0,6 bar

En cuanto al volumen del tanque, la producción de protector solar que se realizará es de 500 litros, a este valor hay que sumarle un factor de seguridad que, en este caso, será del 30%.

- Volumen útil ( $V_u$ ) = 500 litros  $\rightarrow$  Volumen del tanque ( $V_t$ ) =  $V_u + V_u \cdot 0,3 = 650$  litros

Partiendo de los valores anteriores se diseña, en primer lugar, el cuerpo del tanque. Para ello, en la **Figura 1** se muestra un esquema representativo en el que se pueden observar los parámetros de diseño.



**Figura 1:** Esquema representativo del cuerpo del tanque.

El cuerpo del tanque se compone de dos partes: la virola (parte cilíndrica) y el fondo (parte semiesférica), por lo tanto, el volumen será la suma de los volúmenes de ambas partes siendo éste obtenido a partir de la ecuación (1).

$$V_t = \pi \cdot r_t^2 \cdot h + \frac{2}{3} \pi \cdot r_t^3 \quad (1)$$

Siendo  $h$  la altura de la virola.

Puesto que el tanque se va a diseñar para una capacidad de 650 litros (0,65 m<sup>3</sup>), la ecuación anterior se iguala a 0,65 para obtener la altura de virola, a la cual se le suma el radio, que se corresponde con la altura de la parte semiesférica, para obtener la altura total del cuerpo.

$$V_t = \pi \cdot 0,5^2 \cdot h + \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot 0,5^3 = 0,65 \rightarrow h = 0,49 \text{ m} \simeq 0,5 \text{ m}$$

Una vez conocida la altura de la parte cilíndrica, se obtiene la altura total del cuerpo (H):

$$H = h + r_t \quad (2)$$

$$H = 0,5 + 0,5 = 1 \text{ m}$$

Otro parámetro importante en el diseño de un tanque mezclador es, la altura del líquido dentro del mismo ( $h_{\text{líquido}}$ ). La parte semiesférica del tanque siempre contendrá fluido, por ello, la altura del líquido será igual a la altura de la parte semiesférica, que se corresponde con el radio del tanque, más la altura de la parte cilíndrica que sea ocupada por el líquido ( $h_L$ ). Sabiendo que se producen 0,5 m<sup>3</sup> de protector solar, se puede calcular dicha altura a partir de la ecuación (1).

$$0,5 = \pi \cdot 0,5^2 \cdot h_L + \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot 0,5^3 \rightarrow h_L = 0,303 \text{ m}$$

$$h_{\text{líquido}} = r_t + h_L \quad (3)$$

$$h_{\text{líquido}} = 0,5 + 0,303 = 0,803 \text{ m}$$

Después de determinar las dimensiones del tanque, se calcula el espesor. Para este cálculo es necesario conocer la presión de diseño ( $P_d$ ), la cual se determina, conociendo la presión de operación ( $P_o$ ), a partir de la siguiente ecuación:

$$P_d = \text{mayor} (1,1 \cdot P_o, 2 + P_o) \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (4)$$

Siendo  $P_o = 0,612 \text{ kg/cm}^2$ , la presión de diseño será el mayor de los valores expresados en la ecuación (4).

$$P_d = \text{mayor} (1,1 \cdot 0,612 ; 2 + 0,612) = \text{mayor} (0,673 ; 2,612) = 2,612 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_d = 2,612 \text{ kg/cm}^2 = 2,562 \text{ bar} = 256149,6 \text{ Pa} = 0,256 \text{ MPa}$$

Para el cálculo del espesor se emplean tres ecuaciones, una para la virola (cilíndrica), una para el fondo (semiesférico) y otra distinta para la tapa (toriesférica).

En dichas ecuaciones aparecen los parámetros que se van a especificar a continuación.

- **S<sub>adm</sub>**: tensión máxima admisible por el material. → La tensión máxima admisible es aproximadamente el 25% de la resistencia última a tracción del material (**S<sub>u</sub>**), este dato se ha extraído de la **Tabla 7 del Anexo 3**.

**S<sub>u</sub>** para el acero inoxidable AISI 316 es 605 N/mm<sup>2</sup> por lo tanto:

$$S_{adm} = 0,25 \cdot S_u \quad (5)$$

$$S_{adm} = 0,25 \cdot 605 = 151,25 \text{ N/mm}^2 = 151,25 \text{ MPa}$$

- **E<sub>j</sub>**: eficiencia de la junta en las soldaduras. El proceso de selección del valor de la eficiencia de junta está explicado en el **Anexo 3**.

Si se cumple que  $0,385 \cdot S_{adm} \cdot E_j > P_d < 21,1$  (MPa), la ecuación de la que se obtiene el espesor es la siguiente:

$$e_v = \frac{P_d \cdot r_t}{2 \cdot S_{adm} \cdot E_j + 0,6 \cdot P_d} \quad (6)$$

Siendo:

- **e<sub>v</sub>**: espesor de la virola en metros.
- **P<sub>d</sub>**: presión de diseño en MPa.
- **r<sub>t</sub>**: radio interno del tanque en metros.

A continuación, se va a comprobar que el diseño que se quiere realizar cumple con la condición anterior.

$$0,385 \cdot 151,25 \cdot 0,7 = 40,85 > 0,256 < 21,1$$

De este modo, el espesor de la virola resulta ser:

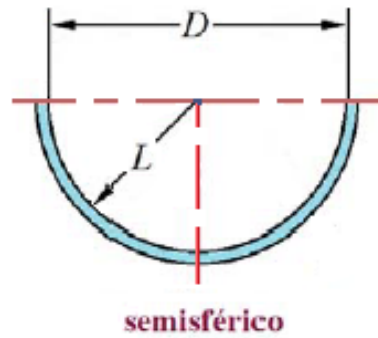
$$e_v = \frac{0,256 \cdot 0,5}{2 \cdot 151,25 \cdot 0,7 + 0,6 \cdot 0,256} = 0,00121 \text{ m}$$

$$e_v = 1,21 \text{ mm}$$

Para el cálculo del espesor del fondo del tanque ( $e_f$ ) se emplea la ecuación (7).

$$e_f = \frac{P_d \cdot L}{2 \cdot S_{adm} \cdot E_j - 0,2 \cdot P_d} \quad (7)$$

Siendo  $L$  igual al radio del tanque, **Figura 2**.



**Figura 2:** Esquema cabezal semiesférico.

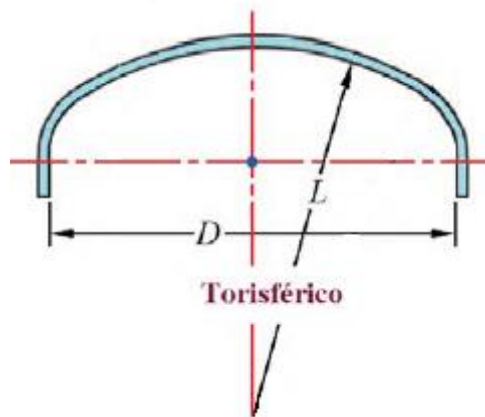
$$e_f = \frac{0,256 \cdot 0,5}{2 \cdot 151,25 \cdot 0,7 - 0,2 \cdot 0,256} = 0,00061 \text{ m}$$

$$e_f = \mathbf{0,61 \text{ mm}}$$

Para el cálculo del espesor de la tapa del tanque ( $e_t$ ) se emplea la ecuación (8).

$$e_t = \frac{0,885 \cdot P_d \cdot L}{S_{adm} \cdot E_j - 0,1 \cdot P_d} \quad (8)$$

Siendo  $L$  igual al diámetro del tanque, **Figura 3**.



**Figura 3:** Esquema cabezal torisférico.

$$e_t = \frac{0,885 \cdot 0,256 \cdot 1}{151,25 \cdot 0,7 - 0,1 \cdot 0,256} = 0,00214 \text{ m}$$

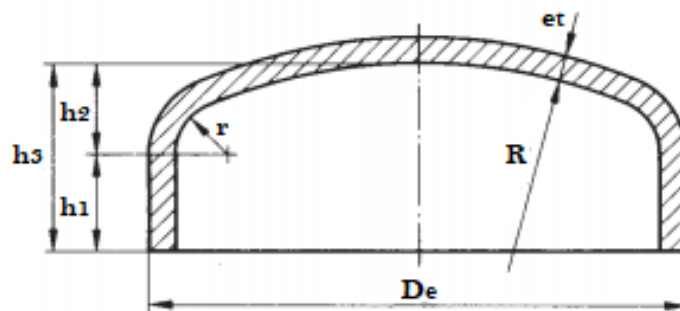
$$e_t = 2,14 \text{ mm}$$

Según el Código ASME Sección VIII-División 1 Parte UG, el espesor mínimo para el cuerpo y los cabezales, excluido el sobreespesor por corrosión, debe ser de 2,6 mm. El sobreespesor por corrosión suele ser un valor comprendido en el intervalo de 1 a 6 mm, por lo que, teniendo en cuenta que los ácidos empleados en la elaboración de protectores solares tienen un bajo nivel de corrosión debido a que éstos se destinan al uso cutáneo, será suficiente con un sobreespesor de 2 mm.

Tanto la virola como los dos cabezales (tapa y fondo) tienen un espesor inferior al mínimo permitido, por lo tanto, cada una de estas partes del tanque tendrá un espesor de 2,6 mm y un sobreespesor por corrosión de 2 mm, de este modo, se obtiene que el tanque completo tiene un espesor de 4,6 mm y debido a que este valor no se encuentra entre los espesores estándar para chapas de acero inoxidable, se tomará un espesor de 5 mm.

$$e_v = e_f = e_t = e = 5 \text{ mm}$$

En cuanto al cabezal toriesférico, se deben determinar todas sus dimensiones para así obtener el diseño del tanque, propiamente dicho. Las dimensiones a calcular se muestran en la **Figura 4** y se obtienen a partir de relaciones geométricas aportadas por la norma DIN 28011, referente a cabezales toriesféricos.



**Figura 4:** Dimensiones de diseño de un cabezal toriesférico.

Las relaciones geométricas con las que se obtienen las dimensiones de diseño son las siguientes:

$$\mathbf{R = D_e = D_t + 2 \cdot e_t = 1 + 2 \cdot 0,005 = 1,01 \text{ m}}$$

$$\mathbf{r = 0,1 \cdot R = 0,1 \cdot 1,01 = 0,101 \text{ m}}$$

$$\mathbf{h_1 = 3,5 \cdot e_t = 3,5 \cdot 0,005 = 0,0175 \text{ m}}$$

$$\mathbf{h_2 = 0,1935 \cdot R - 0,455 \cdot e_t = 0,1935 \cdot 1,01 - 0,455 \cdot 0,005 = 0,1932 \text{ m}}$$

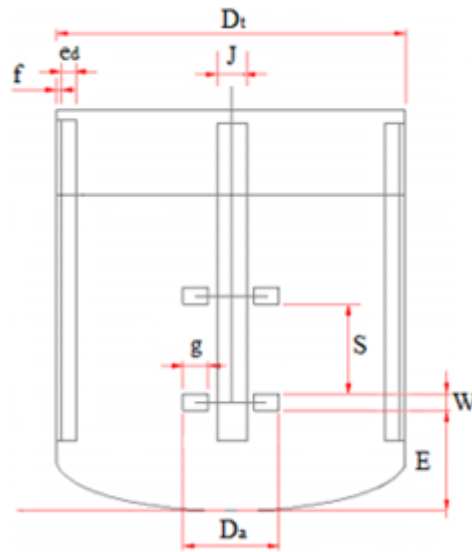
$$\mathbf{h_3 = h_1 + h_2 = 0,0175 + 0,1932 = 0,2107 \text{ m}}$$

Siendo:

- **D<sub>t</sub>**: diámetro interno del tanque (m).
- **e<sub>t</sub>**: espesor de la tapa del tanque (m).
- **D<sub>e</sub>**: diámetro exterior (m).
- **R**: radio esférico interior (m).
- **r**: radio de rebordeo interior (m).
- **h<sub>1</sub>**: pestaña (parte recta) (m).
- **h<sub>2</sub>**: flecha, zona de la tapa donde empieza la curvatura del rebordeo (m).
- **h<sub>3</sub>**: altura total de la tapa (m).

A continuación, se calculan las dimensiones del sistema de agitación y de las placas deflectoras y la potencia del agitador. En la **Figura 5** se pueden ver las dimensiones que se van a determinar.





**Figura 5:** Dimensiones del agitador y las placas deflectoras.

- **f**: espacio entre la pared del tanque y la placa deflectora (m).
- **J**: ancho de la placa deflectora (m).
- **g**: longitud de la pala (m).
- **W**: ancho de la pala (m).
- **S**: distancia entre impulsores (m).
- **E**: distancia del fondo del tanque al impulsor (m).
- **Da**: diámetro del impulsor (m).
- **Dt**: diámetro del tanque (m).
- **ea**: espesor de las placas deflectoras. No se calcula mediante relaciones geométricas (m). Su cálculo está en el **Anexo 5**.

Para el cálculo de las dimensiones que se muestran en la figura anterior se utilizan semejanzas geométricas, específicas del impulsor de tipo turbina.

$$\frac{f}{D_t} = \frac{1}{50} \rightarrow f = 1 \cdot \frac{1}{50} = 0,020 \text{ m} \qquad \frac{J}{D_t} = \frac{1}{10} \rightarrow J = 1 \cdot \frac{1}{10} = 0,100 \text{ m}$$

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3} \rightarrow D_a = 1 \cdot \frac{1}{3} = 0,330 \text{ m}$$

$$\frac{g}{D_a} = \frac{1}{4} \rightarrow g = 0,33 \cdot \frac{1}{4} = 0,0825 \text{ m}$$

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \rightarrow W = 0,33 \cdot \frac{1}{5} = 0,066 \text{ m}$$

$$\frac{S}{D_a} = 1 \rightarrow S = 0,33 \cdot 1 = 0,33 \text{ m}$$

$$\frac{E}{D_a} = 1 \rightarrow E = 0,33 \cdot 1 = 0,33 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta que las palas del impulsor se encuentran soldadas al disco justo en el centro las mismas, se puede obtener el diámetro del disco a partir del diámetro del impulsor ( $D_a$ ) y de la longitud de las palas ( $g$ ).

$$D_d = D_a - \left(\frac{g}{2}\right) \cdot 2 = 0,33 - 0,0825 = 0,2475 \text{ m}$$

### Anexo 3. Información necesaria para el cálculo de los espesores

#### Obtención del valor de resistencia a última tracción para el acero inoxidable AISI 316

A partir de la **Tabla 7** se selecciona el valor de la resistencia a última tracción para el acero AISI 316.

**Tabla 7:** Propiedades mecánicas para los aceros inoxidables según EN 10088-2.

	Grado	Producto <sup>1)</sup>	Espesor máximo (mm)	Mínima resistencia <sup>2)</sup> correspondiente al 0.2% (N/mm <sup>2</sup> )	Resistencia última a tracción (N/mm <sup>2</sup> )	Alargamiento de rotura (%)
Aceros inoxidables austeníticos básicos de cromo y níquel	1.4301	C	8	230	540 – 750	45 <sup>(3)</sup>
		P	13,5	210	520 – 720	45 <sup>(3)</sup>
		H	75	210	520 – 720	45
	1.4307	C	8	220	520 – 700	45
		P	13,5	200	520 – 700	45
		H	75	200	500 – 700	45
Aceros inoxidables austeníticos de molibdeno, cromo y níquel	1.4401	C	8	240	530 – 680	40
		P	13,5	220	530 – 680	40
		H	75	220	520 – 670	45
	1.4404	C	8	240	530 – 680	40
		P	13,5	220	530 – 680	40
		H	75	220	520 – 670	45
Aceros inoxidables austeníticos estabilizados	1.4541	C	8	220	520 – 720	40
		P	13,5	200	520 – 720	40
		H	75	200	500 – 700	40
	1.4571	C	8	240	540 – 690	40
		P	13,5	220	540 – 690	40
		H	75	220	520 – 670	40
Aceros inoxidables austeníticos bajos en carbono, altos en nitrógeno	1.4318	C	8	350	650 – 850	35
		P	13,5	330	650 – 850	35
		H	75	330	630 – 830	45
Aceros inoxidables dúplex	1.4362	C	8	450	650 – 850	20
		P	13,5	400	650 – 850	20
		H	75	400	630 – 800	25
	1.4462	C	8	500	700 – 950	20
		P	13,5	460	700 – 950	25
		H	75	460	640 – 840	25
Notas:						
1) C=fleje laminado en frío, P=chapa laminada en caliente, H=fleje laminado en caliente						
2) Propiedades transversales						
3) Para material más estirado, los valores mínimos son un 5% más bajos						

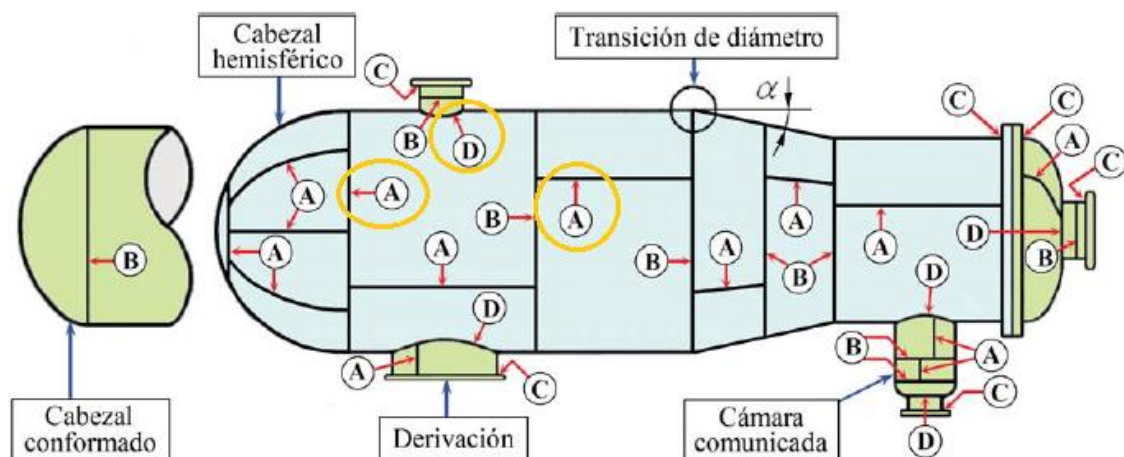
El espesor de las chapas de acero inoxidable AISI 316 (EN 14401) que conformarán la virola y el fondo del tanque no serán superiores a 13,5 mm. Por lo tanto, el intervalo de resistencia a última tracción para este material es 530-680 N/mm<sup>2</sup>, siendo el valor escogido para los cálculos del espesor la media entre ambos valores, 605 N/mm<sup>2</sup>.

### **Proceso de selección del valor de la eficiencia de junta de las uniones soldadas**

Se puede definir la eficiencia de junta como el grado de confiabilidad que se puede tener de ella. Este coeficiente adopta valores inferiores a 1, y se puede decir que la eficiencia de junta es una forma de reducir el esfuerzo admisible del material. Por este motivo, la eficiencia depende del nivel de ensayos no destructivos y de la categoría y tipo de junta que utilizamos para la unión de dos partes de un equipo.

Para elegir un valor de eficiencia de junta el primer paso es determinar la categoría de la unión soldada. Habrá uniones tanto entre la/s chapas que conformen la virola, entre las chapas que conforman el fondo y entre la virola y el fondo.

El término “categoría” es usado para definir la localización de la unión soldada en el recipiente, que no el tipo de unión. En la **Figura 5** se muestran las distintas categorías de uniones.



**Figura 6:** Categorías de las uniones soldadas.

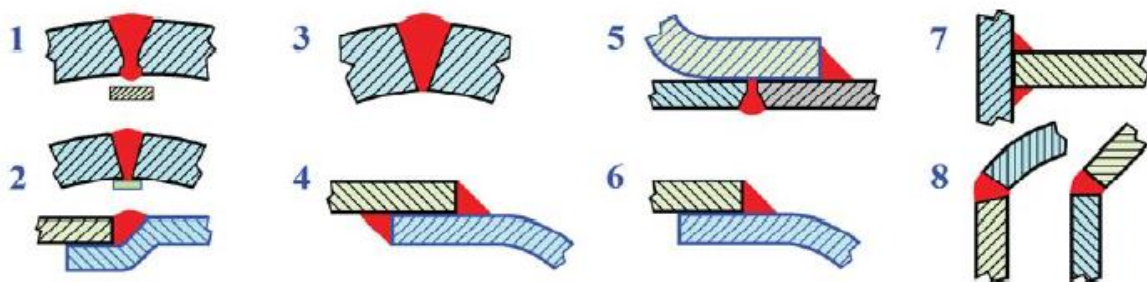
Como se indica en la **Figura 6**, las uniones que se han mencionado anteriormente pertenecen a la categoría A y la categoría D. Las uniones de la categoría A son las siguientes:

- Uniones longitudinales: en cuerpo principal, cámaras comunicadas, transiciones de diámetro y derivaciones.
- Uniones soldadas: en recipientes esféricos, cabezales conformados o cabezales planos.

- Uniones circunferenciales que conectan los cabezales hemisféricos: con el cuerpo principal, transiciones de diámetro, derivaciones o cámaras comunicadas.

Mientras que las uniones de la categoría D corresponden a las uniones de las entradas y la salida de la camisa con el cuerpo del tanque.

Una vez conocida la categoría de la unión, se debe determinar el tipo de unión soldada. Para ello se muestran en la **Figura 7** los ocho tipos de juntas permitidas en la construcción de recipientes.



**Figura 7:** Tipos de uniones soldadas.

De los ocho tipos de uniones que se pueden observar en la figura, las uniones de tipo 1, 2, 3, 4 y 6 se aplican en las juntas de categoría A. Las más empleadas en la construcción de recipientes son las de tipo 1 y 2.

- Las uniones de tipo 1 son juntas a tope de doble arco de soldadura, con depósito de material en las superficies interna y externa.
- Las uniones de tipo 2 son juntas a tope de simple arco de soldadura, con respaldo.

Por simplicidad de ejecución, el tipo de unión que se realizará en la soldadura para la construcción del tanque será la unión de tipo 1.

Conocido el tipo de unión, se selecciona la eficiencia de junta. Para ello es necesario conocer el grado de radiografiado para determinar la calidad de la soldadura, de entre los 3 siguientes:

- Radiografiado total.
- Radiografiado parcial (spot).
- Sin radiografiado.

En este caso, se selecciona la unión soldada radiografiado. De este modo, la eficiencia de junta será menor y esto dará lugar a un mayor espesor. En la **Tabla 8** se muestran los valores de la eficiencia de junta para uniones soldadas.

**Tabla 8:** Valores admisibles de la eficiencia de junta para uniones soldadas.

Tipo Nº	Descripción	Limitaciones	Categoría	Radiografiado		
				(a) Total	(b) Parcial	(c) Nada
1	Juntas a tope de doble arco de soldadura, (con depósito de material en las superficies interna y externa) u otros medios que provean igual calidad en el interior y en el exterior de la superficie soldada para cumplir con los requerimientos de UW-35. Las juntas que usan topes metálicos que quedan adheridos están excluidas.	Ninguna	A, B, C y D	1,0	0,85	0,70
2	Juntas a tope de simple arco de soldadura, con respaldo, diferentes de las incluidas en 1.	(a) Ninguna excepto las mencionadas en (b) a continuación. (b) Uniones a tope circunferenciales con una placa desplazada respecto de la otra; ver UW-13(b)(4) y Figura 10, tipo 2 parte inferior.	A, B, C y D	0,9	0,80	0,65
3	Juntas a tope de simple arco de soldadura, sin respaldo.	Uniones circunferenciales a tope de espesor no mayor a 1/4" (6 mm) y de diámetro exterior no mayor a 24" (610 mm).	A, B y C	NA	NA	0,60
4	Juntas a filete completas de doble solape.	(a) Soldaduras longitudinales de espesor no superior a 1/4" (6 mm). (b) Soldaduras circunferenciales de espesor no superior a 1/4" (6 mm).	A B y C	NA NA	NA NA	0,55 0,55
5	Juntas a filete completas de simple solape con soldaduras tipo enchufada (plug weld) de acuerdo a UW-17.	(a) Soldaduras circunferenciales para cabezales de no más de 24" (610 mm) de diámetro exterior y no más de 1/2" (13 mm) de espesor. (b) Uniones circunferenciales para fijar cabezales <i>encamisados</i> de espesor nominal no mayor a 1/4" (6 mm) donde la distancia desde el centro de la soldadura tipo <i>enchufada</i> al extremo de la placa no es menor a 1,5 veces el diámetro del agujero para el <i>encamisado</i> (ver Figura 10, Tipo 5).	B C	NA NA	NA NA	0,50 0,50
6	Juntas a filete completas de simple solape no enchufadas (sin plug welds).	Para fijar cabezales con presión del lado convexo a cuerpos cilíndricos que no requieren espesores superiores a 1/4" (6 mm), utilizando junta a filete sólo en el interior del cuerpo cilíndrico. Para fijar cabezales con presión exterior o interior a cuerpos cilíndricos de diámetro interior no mayor a 24" (610 mm) y que no requieren espesores superiores a 1/4" (6 mm), utilizando únicamente soldadura a filete en la parte exterior de la brida.	A y B A y B	NA NA	NA NA	0,45 0,45
7	Juntas de esquina, penetración total, penetración parcial, y/o soldadura a filete.	Limitaciones dadas en la Figura UW-13.2 y en la Figura UW-16.1.	C y D	NA	NA	NA
8	Juntas en ángulo.	Cumplir U-2(g) para uniones Categoría B y C.	B, C y D	NA	NA	NA

Para las uniones de tipo 1 y un grado de radiografiado nulo, el valor de eficiencia de junta es de 0,7, por lo que con estos datos ya se pueden calcular los espesores de la virola y el fondo del tanque.

## Anexo 4. Sistema de agitación

### Cálculo de la potencia requerida por el agitador

Para el cálculo de la potencia necesitada por el agitador para asegurar una buena homogeneización de la mezcla, se fijan previamente los valores de varios parámetros que serán necesarios para los cálculos posteriores.

- Velocidad de rotación del agitador ( $n$ ) en revoluciones por segundo, rps. Para un agitador de turbina, se consideran velocidades medias de 100 a 300 rpm y velocidades elevadas de 300 a 1000 rpm. Para el diseño del agitador se va a considerar una velocidad de 240 rpm ya que, una velocidad demasiado alta o demasiado baja no permitiría una correcta homogeneización.

$$240 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 4 \text{ rps}$$

- Viscosidad del protector solar a 55°C ( $\mu_{\text{crema}}$ ) = 0,133 Pa·s
- Densidad del protector solar a 55°C ( $\rho_{\text{crema}}$ ) = 1050 kg/m<sup>3</sup>
- Diámetro del agitador ( $D_a$ ) = 0,33 m

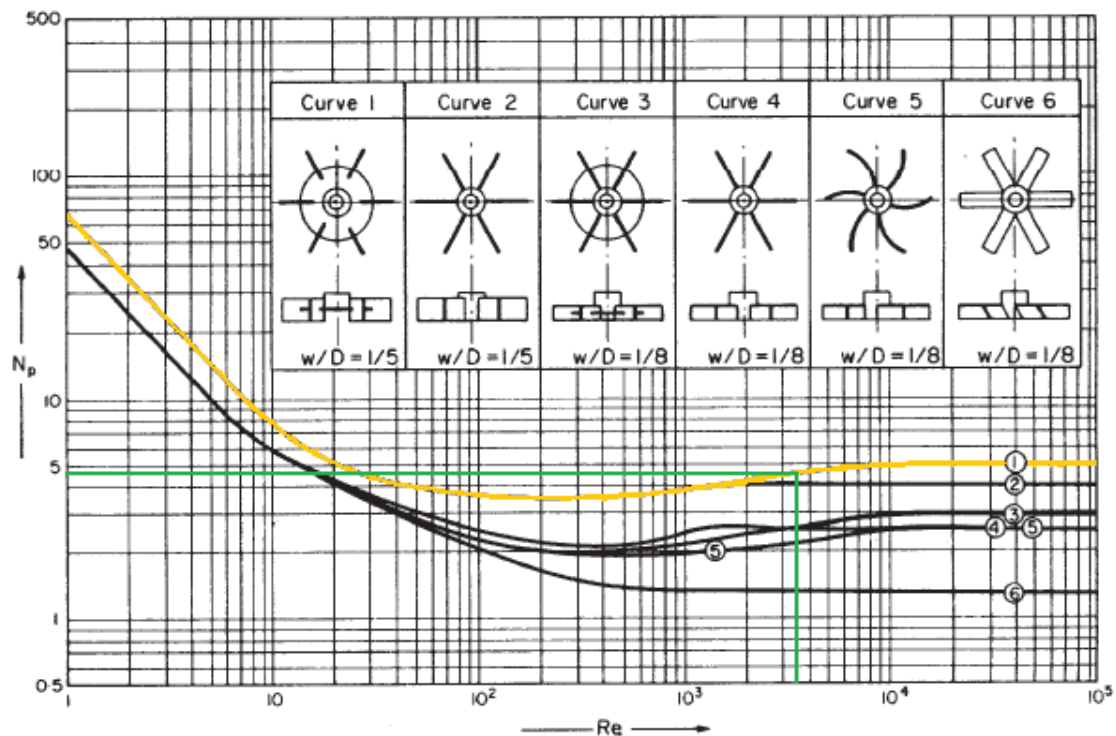
Para el cálculo de la potencia consumida se calcula, en primera instancia, el número de Reynolds a partir de la ecuación 9.

$$\text{Re} = \frac{D_a^2 \cdot n \cdot \rho_{\text{crema}}}{\mu_{\text{crema}}} \quad (9)$$

$$\text{Re} = \frac{0,33^2 \cdot 4 \cdot 1050}{0,133} = 3438,947$$

Conocido el número de Reynolds se puede obtener el número de potencia del agitador ( $N_p$ ) a partir de la **Figura 8**.





**Figura 8:** Número de potencia  $N_p$  frente a  $Re$  para impulsores de turbina.

El número de potencia que corresponde a un valor de Reynolds de 3438,947 y un impulsor de turbina de disco y 6 palas, tipo Rushton, como el de la curva 1, es 4,7.

Con el valor del número de potencia ya se puede calcular la potencia requerida por el agitador, a partir de la ecuación (10):

$$P = N_p \cdot n^3 \cdot D_a^5 \cdot \rho_{\text{crema}} \quad (10)$$

$$P = 4,7 \cdot 4^3 \cdot 0,33^5 \cdot 1050 = 1236,052 \text{ W} = \mathbf{1,236 \text{ kW}}$$

Por lo general, los equipos no tienen una eficiencia ( $\eta$ ) del 100%. En el diseño del agitador se considera una eficiencia del 85%, por tanto la potencia requerida por el motor ( $P'$ ) será:

$$P' = \frac{P}{\eta} = \frac{1,236}{0,85} = \mathbf{1,454 \text{ kW}}$$



### **Cálculo de las dimensiones del eje del agitador**

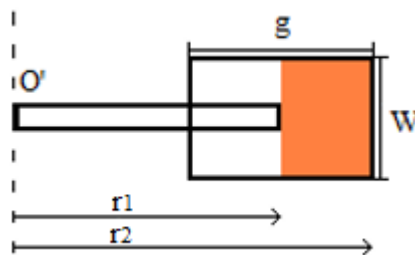
#### **- Longitud del eje del agitador**

La longitud del eje queda fijada una vez se ha dimensionado el resto de elementos del tanque. Su longitud hasta llegar a la tapa del tanque es de 0,869 metros pero es necesaria una mayor longitud para poder acoplar el eje al reductor de velocidades por eso se tomará una longitud del eje de 1 metro.

$$L_{\text{eje}} = 1 \text{ m}$$

#### **- Espesor de las palas y el disco del impulsor de turbina**

La determinación del espesor de las palas y el disco del impulsor requiere una serie de cálculos para los cuales se necesita la **Figura 9** de forma que se pueda explicar con más claridad dichos cálculos.



**Figura 9:** Esquema impulsor.

El proceso para calcular el espesor del impulsor se divide en 3 pasos:

1. Cálculo de los parámetros  $r_1$  y  $r_2$  de la **Figura 9**.

Los parámetros  $g$  (longitud de la pala) y  $W$  (ancho de la pala) han sido calculados en el **Anexo 2** y sus valores son los siguientes:

- $g = 0,0825 \text{ m}$
- $W = 0,066 \text{ m}$

Mientras que,  $r_1$  y  $r_2$  se deben de calcular a partir de los parámetros ya conocidos, teniendo en cuenta que en la **Figura 9** se muestra una mitad del impulsor y que, por tanto, la distancia  $r_1$  será igual al radio del disco del impulsor calculado en el **Anexo 2**, y  $r_2$  será igual al radio del disco más la mitad de la longitud de la pala ( $g$ ). Siendo el diámetro del disco ( $D_d$ ) igual a 0,248 m.

$$r_1 = \frac{D_d}{2} = \frac{0,2475}{2} = 0,12375 \text{ m}$$

$$r_2 = \frac{D_d}{2} + \frac{g}{2} = \frac{0,2475}{2} + \frac{0,0825}{2} = 0,165 \text{ m}$$

2. Cálculo del momento respecto al punto O'.

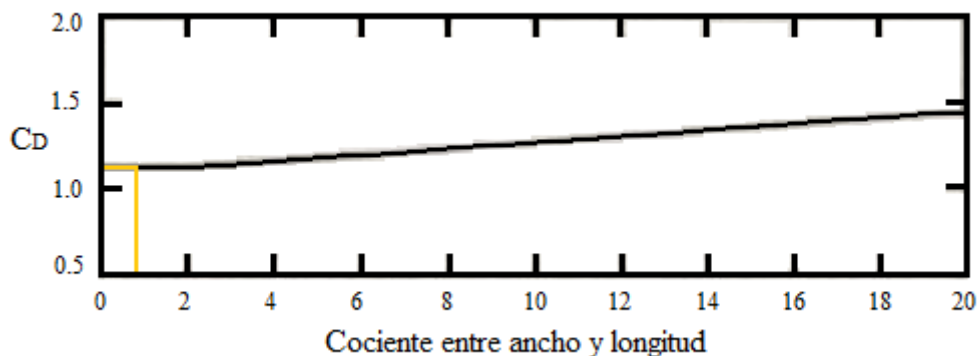
Partiendo de la fuerza ( $F_p$ ) que ejerce el fluido sobre la parte de la pala que no está unida al disco (zona sombreada en la **Figura 9**).

$$F_p = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho_{\text{crema}} \cdot v^2 \cdot A \quad (11)$$

Donde  $C_D$  es el coeficiente de arrastre que es función de las dimensiones de la pala, y se obtiene a partir de la **Figura 10**,  $v$  es la velocidad lineal de la pala y  $A$  es el área de la zona de la pala que sufre la fuerza ejercida por el fluido, es decir, el área de la zona coloreada de la pala.

Partiendo del cociente entre el ancho ( $W$ ) y la longitud ( $g$ ) de pala de la turbina:

$$\frac{W}{g} = \frac{0,066}{0,0825} = 0,8$$



**Figura 10:**  $C_D$  frente al cociente entre el ancho y la longitud.

Se obtiene que  $C_D$  tiene un valor de 1,16.

Como el impulsor gira a una velocidad angular ( $N$ ) constante de 240 rpm, se debe modificar la ecuación 11, teniendo en cuenta que la velocidad lineal de una diferencial de área varía con el radio, por lo que la dicha ecuación resulta:

$$F_p = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho_{\text{crema}} \cdot (N^2 \cdot r^2) \cdot (W \cdot r) \quad (12)$$

Multiplicando a ambos lados de la ecuación (12) por diferencial del radio ( $dr$ ) y se integra entre los límites para el radio ( $r_1$  y  $r_2$ ), que se muestran en la **Figura 9**, se obtiene el valor del momento en el punto O'.

$$\int_{r_1}^{r_2} F_p \cdot dr = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho_{\text{crema}} \cdot N^2 \cdot W \cdot \int_{r_1}^{r_2} r^3 \cdot dr \quad (13)$$

Sustituyendo en la ecuación (13) los valores pertinentes se obtiene el valor del momento ( $M_{O'}$ ), en esta ecuación la velocidad angular debe estar expresada en rad/s por lo que  $w = 25,133$  rad/s.

$$M_{O'} = \frac{1}{2} \cdot 1,16 \cdot 1050 \cdot 25,133^2 \cdot 0,066 \cdot \int_{0,12375}^{0,165} r^3 \cdot dr = \mathbf{3,216 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

### 3. Cálculo del espesor.

A partir de la fórmula de la flexión, ecuación (14), se obtiene el espesor de las palas.

$$S_y = \frac{N_f \cdot M_{O'} \cdot y}{I} \quad (14)$$

Siendo:

- $N_f$ : factor de seguridad con un valor de 2,5 (valor más común).
- $y$ : distancia al punto de máxima tensión.
- $I$ : momento de inercia de una sección rectangular.
- $S_y$ : límite de fluencia del acero AISI 316, tiene un valor de  $197 \cdot 10^6$  Pa.

$$S_y = \frac{N_f \cdot M_{O'} \cdot \frac{e}{2}}{W \cdot \frac{e^3}{12}} \quad (15)$$

$$e_{\text{palas}} = \sqrt{\frac{6 \cdot N_f \cdot M_{O'}}{S_y \cdot W}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 2,5 \cdot 3,216}{197 \cdot 10^6 \cdot 0,066}} = 0,00193 \text{ m} = \mathbf{1,93 \text{ mm}}$$

El mínimo espesor comercial para los impulsores son 3 milímetros por lo que, tanto las palas como el disco deberán tener como mínimo dicho espesor. Teniendo en cuenta que

el espesor obtenido es inferior al comercial, los elementos del impulsor serán el mínimo espesor comercial.

- **Diámetro del eje agitador**

Para calcular el diámetro del eje agitador se utiliza la ecuación de un eje sometido a torque constante y flexión completamente reversible.

$$d_{\text{eje}} = \left[ \frac{32 \cdot N_f}{\pi} \cdot \left[ \left( k_f \cdot \frac{M_a}{S_f} \right)^2 + \frac{3}{4} \cdot \left( \frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (16)$$

Siendo:

- $M_a$ : momento flector alternante.
- $k_f$ : coeficiente modificativo del límite de fatiga.
- $S_f$ : límite de fatiga.
- $T_m$ : torque del eje agitador.

En este caso, no existen fuerzas transversales aplicadas que causen flexión, por lo tanto el valor  $M_a$  es nulo y la ecuación (16) resulta:

$$d_{\text{eje}} = \left[ \frac{16 \cdot \sqrt{3} \cdot N_f}{\pi} \cdot \left( \frac{T_m}{S_y} \right) \right]^{\frac{1}{3}} \quad (17)$$

Donde del límite de fluencia del acero inoxidable AISI 316 ( $S_y$ ) tiene un valor de  $197 \cdot 10^6$  N/m<sup>2</sup> y el torque del eje ( $T_m$ ) se obtiene a partir de la potencia del sistema de agitación y de la velocidad angular de éste en rad/s mediante la ecuación (18).

$$T_m = \frac{P}{\omega} \quad (18)$$

$$T_m = \frac{1236,052}{25,133} = 49,180 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Conocidos los valores del límite de fluencia y del torque se obtiene el diámetro del eje del agitador a partir de la ecuación (17).

$$d_{\text{eje}} = \left[ \frac{16 \cdot \sqrt{3} \cdot 2,5}{\pi} \cdot \left( \frac{49,18}{197 \cdot 10^6} \right) \right]^{\frac{1}{3}} = 0,0177 \text{ m} = 1,77 \text{ cm}$$

Debido a que el valor de diámetro obtenido, a partir de las características de este equipo, es pequeño, se toma por consejo de la empresa proveedora un diámetro de 3 centímetros.

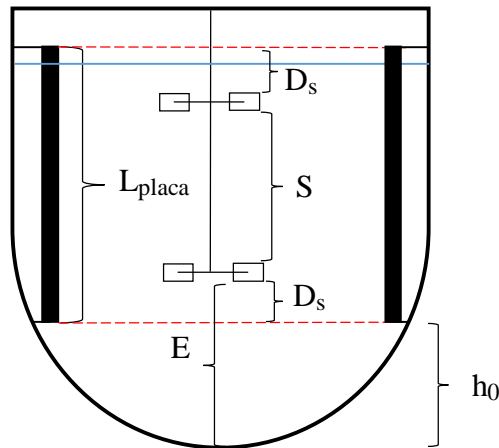
$$d_{\text{eje}} = 3 \text{ cm}$$



## Anexo 5. Placas deflectoras

### Cálculo de la longitud de las placas deflectoras

En la **Figura 11** se muestra un esquema con las dimensiones de las placas deflectoras.



**Figura 11:** Esquema del tanque y las placas deflectoras.

Para el cálculo de la altura de las placas deflectoras, se tiene en cuenta la distancia que hay entre las palas de los dos impulsores que están en el eje agitador ( $S$ ), el ancho de las palas ( $W$ ) y la distancia de seguridad ( $D_s$ ) para asegurar que no haya formación de vórtices. De este modo, la altura de los deflectores resulta:

$$L_{\text{placa}} = S + 2 \cdot W + 2 \cdot D_s \quad (19)$$

Como distancia de seguridad se toma un 20% de la suma de  $S$  y el ancho de pala de los dos impulsores.

$$D_s = 0,2 \cdot (S + 2 \cdot W) \quad (20)$$

La combinación de la ecuación (19) y (20) da lugar a la longitud de la placa deflector.

$$L_{\text{placa}} = S + 2 \cdot W + 2 \cdot 0,2 \cdot (S + 2 \cdot W) = 1,4 \cdot (S + 2 \cdot W) = 1,4 \cdot (0,33 + 2 \cdot 0,066) = \mathbf{0,6468 \text{ m}}$$

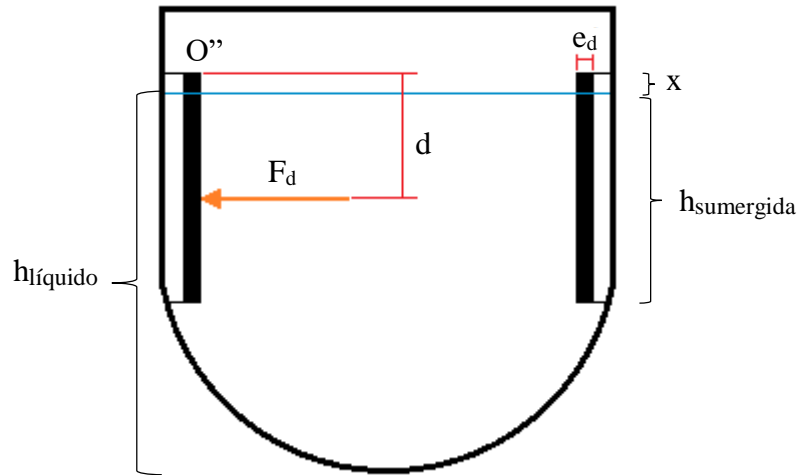
Además de la longitud, también es importante saber a qué distancia del fondo se sitúan las placas deflectoras ( $h_0$ ).

$$h_0 = E - D_s = L_{\text{placa}} - 0,2 \cdot (S + 2 \cdot W) \quad (21)$$

$$h_0 = 0,33 - 0,2 \cdot (0,33 + 2 \cdot 0,066) = \mathbf{0,2376 \text{ m}}$$

### **Cálculo del espesor de las placas deflectoras**

El cálculo del espesor de los deflectores ( $e_d$ ) se efectúa en una serie de pasos, al igual que el cálculo del espesor de las palas del impulsor que se ha detallado en el **Anexo 4**. Para ello en la **Figura 12** se muestra un esquema donde aparece la fuerza que actúa sobre la placa deflector ( $F_d$ ).



**Figura 12:** Punto de aplicación de la fuerza que actúa sobre los deflectores.

El proceso para calcular el espesor de las placas deflectoras se divide en 3 pasos:

1. Cálculo del parámetro  $d$ , que es la distancia desde el centro de la sección sumergida del deflector hasta el extremo del mismo.

$$d = x + \frac{h_{\text{sumergida}}}{2} \quad (22)$$

Para obtener  $d$ , se necesita conocer el valor de la sección de placa sumergida ( $h_{\text{sumergida}}$ ) y la sección de placa que no está en contacto con el fluido del interior del tanque ( $x$ ).

$$h_{\text{sumergida}} = h_{\text{liquido}} - h_0 \quad (23)$$

Siendo  $h_{\text{liquido}} = 0,803$  metros, calculado en el **Anexo 2**.

$$h_{\text{sumergida}} = 0,803 - 0,2376 = 0,5654 \text{ m}$$

$$x = L_{\text{placa}} - h_{\text{sumergida}} \quad (24)$$

$$x = 0,6468 - 0,5654 = 0,0814 \text{ m}$$



Siendo conocidos los parámetros  $h_{sumergida}$  y  $x$  se puede obtener el valor de  $d$  a partir de la ecuación (22).

$$d = 0,0814 + \frac{0,5654}{2} = 0,3641 \text{ m}$$

2. Cálculo del momento respecto al punto O”.

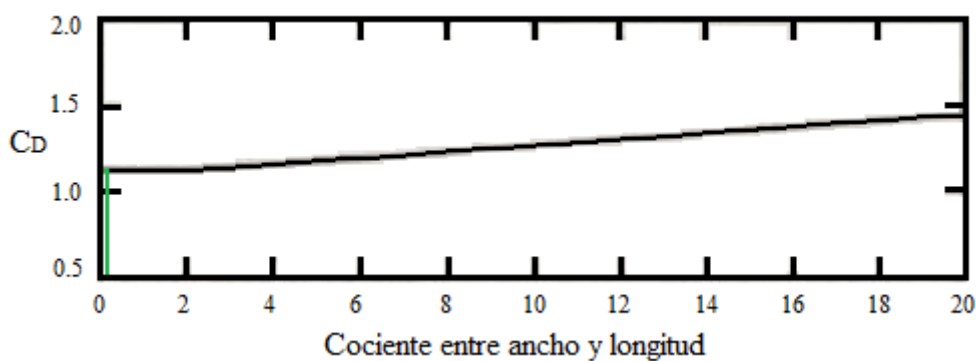
Para calcular el momento, se tiene en cuenta la fuerza que ejerce el fluido sobre la sección de placa deflectora que está sumergida en el mismo ( $F_d$ ). Esta fuerza a partir de la ecuación (25).

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A_d \quad (25)$$

Donde  $C_D$  es el coeficiente de arrastre y se obtiene de la **Figura 13**,  $v$  es la velocidad del fluido que está en contacto con el deflector y  $A_d$  es el área sumergida de las placas deflectoras.

Para obtener el valor del coeficiente de arrastre se necesita conocer el cociente entre el ancho del deflector ( $J$ ) y el alto de placa que se encuentra sumergida en el fluido ( $h_{sumergida}$ ).

$$\frac{J}{h_{sumergida}} = \frac{0,1}{0,5654} = 0,18$$



**Figura 13:**  $C_D$  frente al cociente entre el ancho y la longitud.

Para un valor de abscisa de 0,18, en la **Figura 13**, se obtiene un valor para  $C_D$  de 1,16.

En este caso, la velocidad del fluido se considera constante a lo largo de la placa por lo que es posible utilizar la ecuación (25) sin modificaciones.

La velocidad del fluido en los alrededores de los deflectores puede considerarse como la décima parte de la velocidad en la zona de impulsión ( $v_{\text{impulsión}}$ ), que viene expresada en la ecuación (26).

$$v_{\text{impulsión}} = n \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_a \quad (26)$$

Donde  $w$  es la velocidad angular en rad/s y  $r_a$  el radio del agitador en metros.

$$v_{\text{impulsión}} = n \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{D_a}{2} = 4 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{0,33}{2} = 4,147 \text{ m/s}$$

$$v = 0,1 \cdot v_{\text{impulsión}} = 0,1 \cdot 4,147 = 0,415 \text{ m/s}$$

Por último, se calcula el área sumergida de la placa defletores mediante la ecuación (27).

$$A_d = J \cdot h_{\text{sumergida}} \quad (27)$$

$$A_d = 0,1 \cdot 0,5654 = 0,05654 \text{ m}$$

Conocidos los valores de los parámetros anteriores, se obtiene el valor de la fuerza que actúa sobre los deflectores a partir de la ecuación (25).

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot 1,16 \cdot 1050 \cdot 0,415^2 \cdot 0,05654 = \mathbf{5,930 \text{ N}}$$

A partir de la fuerza ( $F_d$ ) y considerando que ésta se aplica en el centroide del área sumergida del deflector a una distancia ( $d$ ) respecto al punto O", se obtiene el momento para dicho punto mediante la ecuación (28).

$$M_{O''} = F_d \cdot d \quad (28)$$

$$M_{O''} = 6,135 \cdot 0,3641 = \mathbf{2,159 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

### 3. Cálculo del espesor.

El cálculo del espesor de las placas deflectoras ( $e_d$ ) se realiza a partir de la fórmula de la flexión, ecuación (29).

$$S_y = \frac{f \cdot M_{O''} \cdot y}{I} \quad (29)$$

Siendo:

- $N_f$ : factor de seguridad con un valor de 2,5 (valor más común).
- $y$ : distancia al punto de máxima tensión.
- $I$ : momento de inercia de una sección rectangular.
- $S_y$ : límite de fluencia del acero AISI 316, tiene un valor de  $197 \cdot 10^6$  Pa.

$$S_y = \frac{N_f \cdot M_{O''} \cdot \frac{e_d}{2}}{J \cdot \frac{e_d^3}{12}} \quad (30)$$

$$e_d = \sqrt{\frac{6 \cdot N_f \cdot M_{O''}}{S_y \cdot J}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 2,5 \cdot 2,159}{197 \cdot 10^6 \cdot 0,1}} = 0,00128 \text{ m} = \mathbf{1,28 \text{ mm}}$$

El mínimo espesor comercial es de 3 milímetros por lo que, las placas deflectoras deben tener como mínimo ese espesor y, puesto que el espesor obtenido para los deflectores es inferior al mínimo permitido, se tomará un espesor de 3 milímetros, si bien estos cálculos indican que el comportamiento será adecuado con un espesor de 3 mm.



## Anexo 6. Sistema de calentamiento

En este anexo se van a realizar los diferentes cálculos que se necesitan para diseñar el sistema de calentamiento, en este caso, una camisa por la que circula agua caliente a 95°C, disponible en la empresa para otras unidades del proceso.

El sistema de calentamiento debe proporcionar el calor necesario para que el contenido del tanque alcance 85°C en un tiempo razonable.

Por este motivo se va a estudiar la transmisión de calor y determinar el tiempo de calentamiento. Si el valor obtenido no resultase adecuado, se realizarían las modificaciones pertinentes en el sistema.

El tiempo de calentamiento se obtiene del balance de energía en régimen no estacionario, ecuación (31).

$$dq = m_{\text{crema}} \cdot C_{p\text{crema}} \cdot \frac{dT}{dt} = U_i \cdot A_i \cdot \Delta T \quad (31)$$

Separando términos a ambos lados el balance resulta del siguiente modo, ecuación (32).

$$dt = m_{\text{crema}} \cdot C_{p\text{crema}} \cdot \int_{25}^{85} \frac{1}{U_i \cdot A_i \cdot \Delta T} dT \quad (32)$$

Para resolver el balance es necesario calcular el coeficiente global ( $U_i$ ), que depende de la conductividad del acero AISI 316 ( $k_{\text{acero}}$ ) y de los coeficientes individuales de transmisión de calor referidos a las áreas externa ( $h_e$ ) e interna ( $h_i$ ) del tanque.

Teniendo en cuenta que por el interior de la camisa hay agua a 95°C en continua circulación, se considera que el coeficiente individual del agua ( $h_e$ ) es constante mientras que, para obtener el coeficiente individual del protector solar ( $h_i$ ) será necesario llevar a cabo un proceso iterativo ya que la temperatura del producto variará con el tiempo.

**Coefficiente individual de transmisión de calor del fluido que circula por la camisa (área externa).**

El coeficiente individual de transmisión de calor del agua que circula por la camisa ( $h_e$ ) se obtiene a partir del número de Nusselt:

$$Nu = \frac{h_e \cdot D_{eq}}{k_a} \quad (33)$$

Donde  $k_a$  es la conductividad del agua y  $D_{eq}$  el diámetro equivalente que corresponde al espacio por el que circula el agua.

La ecuación escogida para calcular el número de Nusselt ( $Nu$ ) es la ecuación de Dittus-Boelter, ecuación (34), ya que ésta se utiliza cuando el fluido tiene una viscosidad similar o inferior a la del agua, por ello siendo el fluido de calentamiento agua, es correcto utilizar dicha ecuación.

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n \quad (34)$$

En la que  $n = 0,3$  para fluidos que se enfrían, como sucede con el agua que circula por la camisa.

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3} \quad (35)$$

Para poder calcular el número de Nusselt se necesita conocer el número de Reynolds ( $Re$ ) y el número de Prandtl ( $Pr$ ).

El número de Reynolds se expresa en la ecuación (36).

$$Re = \frac{v_a \cdot D_{eq} \cdot \rho_a}{\mu_a} \quad (36)$$

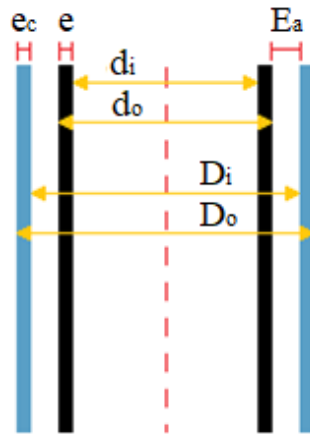
Donde:

- $v_a$ : velocidad de circulación del agua por la camisa en m/s.
- $\rho_a$ : densidad del agua a 95°C en kg/m<sup>3</sup>.
- $\mu_a$ : viscosidad del agua a 95°C en kg/m·s (Pa·s).

Suponiendo un valor para la velocidad de circulación del agua por la camisa que se encuentre en el intervalo 0,3-1 m/s, siendo este rango el más común en fluidos que fluyen por la coraza que, en este caso, se considera similar al espacio por el que circula el agua.

Se supone:  $v_a = 0,3 \text{ m/s}$

Por otra parte, para el cálculo del diámetro equivalente se muestra en la **Figura 13** un esquema con los diferentes diámetros que hay en el tanque y la camisa.



**Figura 13:** Diámetros del tanque mezclador y la camisa de calentamiento.

Los parámetros que se muestran en la figura se definen a continuación:

- **e**: espesor de la pared del tanque, tiene un valor de 5 milímetros.
- **e<sub>c</sub>**: espesor de la pared de la camisa, por facilidad de construcción se escoge el mismo espesor que la pared del tanque, 5 milímetros.
- **E<sub>a</sub>**: espacio anular por donde circula el agua, dato proporcionado por la empresa de elaboración de cosméticos. Su valor es 8 centímetros.
- **d<sub>i</sub>**: diámetro interior del tanque, corresponde al diámetro del tanque ( $D_t$ ) y su valor es 1 metro.
- **d<sub>o</sub>**: diámetro exterior del tanque. Se calcula a continuación.
- **D<sub>i</sub>**: diámetro interno de la camisa. Se calcula a continuación.
- **D<sub>o</sub>**: diámetro externo de la camisa. Se calcula a continuación.

$$d_o = d_i + 2 \cdot e = 1 + 2 \cdot 0,005 = 1,01 \text{ m}$$

$$D_i = d_o + 2 \cdot E_a = 1,01 + 2 \cdot 0,08 = 1,17 \text{ m}$$

$$D_o = D_i + 2 \cdot e_c = 1,17 + 2 \cdot 0,005 = 1,18 \text{ m}$$

El diámetro equivalente se calcula a partir de la ecuación (37):

$$D_{eq} = \frac{4 \cdot \text{sección de paso}}{\text{perímetro mojado}} \quad (37)$$

$$D_{eq} = \frac{4 \left( \frac{\pi}{4} \cdot (D_i^2 - d_o^2) \right)}{\pi \cdot (D_i + d_o)} = \frac{(D_i + d_o) \cdot (D_i - d_o)}{(D_i + d_o)} = D_i - d_o$$

$$D_{eq} = D_i - d_o = 1,17 - 1,01 = 0,16 \text{ m}$$

A partir de los valores de velocidad y diámetro equivalente obtenidos y sabiendo que para el agua:

- $\rho_a (95^\circ\text{C}) = 961,62 \text{ kg/m}^3$
- $\mu_a (95^\circ\text{C}) = 298 \cdot 10^{-6} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$

El número de Reynolds resulta:

$$Re = \frac{0,3 \cdot 0,16 \cdot 961,62}{298 \cdot 10^{-6}} = 15.4891,812$$

$$Re = 15.4891,812 > 10.000 \text{ Régimen turbulento}$$

A continuación, se calcula el número de Prandtl por medio de la ecuación (38).

$$Pr = \frac{C_{pa} \cdot \mu_a}{k_a} \quad (38)$$

Donde:

- $C_{pa}$ : calor específico del agua a  $95^\circ\text{C}$ . Su valor es  $4210 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ .
- $k_a$ : conductividad del agua a  $95^\circ\text{C}$ . Su valor es  $0,677 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ .

Sustituyendo los valores en la ecuación (38), se obtiene  $Pr$ .

$$Pr = \frac{4210 \cdot 298 \cdot 10^{-6}}{0,677} = 1,853$$

Conocidos los valores de los números de Reynolds y Prandtl, se calcula el número de Nusselt, ecuación (35).

$$Nu = 0,023 \cdot 15.4891,812^{0,8} \cdot 1,853^{0,3} = 392,747$$



A partir de la ecuación (33), se obtiene el coeficiente individual de transmisión de calor del agua.

$$h_e = \frac{Nu \cdot k_a}{D_{eq}} \quad (39)$$

$$h_e = \frac{392,747 \cdot 0,677}{0,16} = 1661,811 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

### **Coefficiente individual de transmisión de calor del fluido del interior del tanque (área interna)**

El primer paso para obtener el coeficiente individual de transmisión de calor del protector solar ( $h_i$ ), teniendo en cuenta que se trata de un fluido pseudoplástico, es calcular el gradiente de velocidad al que está sometido el fluido durante la agitación en el tanque ( $\gamma$ ) para poder determinar la viscosidad del producto en esas condiciones.

Para calcular el gradiente de velocidad se utiliza la ecuación de Bowen, ecuación (40).

$$\gamma = 4,2 \cdot n \cdot \left( \frac{D_a}{D_T} \right)^{0,3} \cdot \frac{D_a}{W} \quad (40)$$

Donde  $D_a$  es el diámetro del agitador,  $D_T$  el diámetros del tanque y  $W$  el ancho de la pala del agitador, en metros.

Para el cálculo del coeficiente individual de transmisión de calor del protector solar ( $h_i$ ), se

parte de una velocidad angular del agitador ( $n$ ) de 4 rps.

$$\gamma = 4,2 \cdot 4 \cdot \left( \frac{0,33}{1} \right)^{0,3} \cdot \frac{0,33}{0,066} = 60,23 \text{ s}^{-1}$$

A continuación, se determina la viscosidad para las diferentes temperaturas a las que se han obtenido las curvas de viscosidad (25°C, 40°C, 55°C, 70°C y 85°C), para un gradiente de velocidad de 60,23 s<sup>-1</sup>.

Para obtener los valores de viscosidad para el gradiente de velocidad de 60,23 s<sup>-1</sup>, se muestra el procedimiento a la temperatura de 25°C siendo el resto de valores de viscosidad para las demás temperatura obtenido del mismo modo.

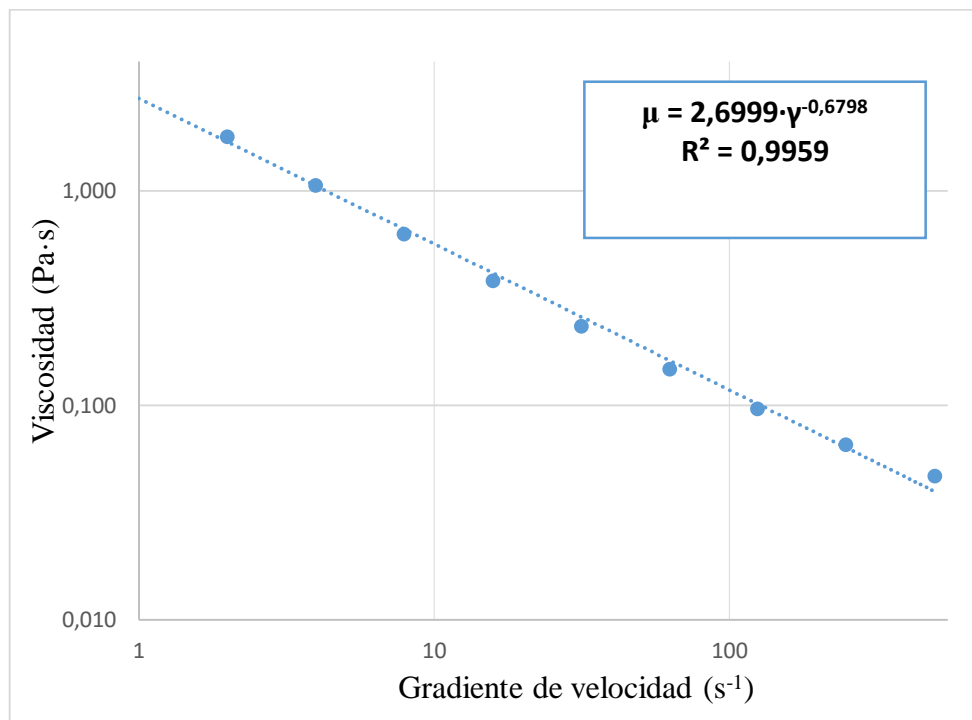
1. Representación de los valores experimentales de viscosidad obtenidos frente a los correspondientes gradientes de velocidad para  $T = 25^{\circ}\text{C}$ .

**Tabla 9:** Valores de viscosidad para cada gradiente de velocidad ( $T=25^{\circ}\text{C}$ )\*.

<b>Gradiente de velocidad (<math>\text{s}^{-1}</math>)</b>	<b>Viscosidad (<math>\text{Pa}\cdot\text{s}</math>)</b>
0,999	3,006
1,994	1,787
3,975	1,059
7,930	0,631
15,811	0,381
31,513	0,234
62,776	0,148
124,950	0,096
248,920	0,066
497,100	0,047

\*Los valores de la Tabla 9 se han obtenido del estudio del comportamiento reológico de una muestra de protector solar.

A partir de los valores de la **Tabla 9** se obtiene la **Figura 14**, ajustando los valores experimentales a una función potencial.



**Figura 14:** Representación viscosidad frente a gradiente de velocidad ( $T=25^\circ\text{C}$ ).

2. Cálculo de la viscosidad a  $25^\circ\text{C}$  para un gradiente de velocidad de  $60,23 \text{ s}^{-1}$ .

A partir de la ecuación obtenida en el ajuste de la **Figura 14**, ecuación (41), se obtiene el valor de la viscosidad.

$$\mu = 2,6999 \cdot \gamma^{-0,6798} \quad (41)$$

$$\mu = 2,6999 \cdot 60,23^{-0,6798} = 0,167 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

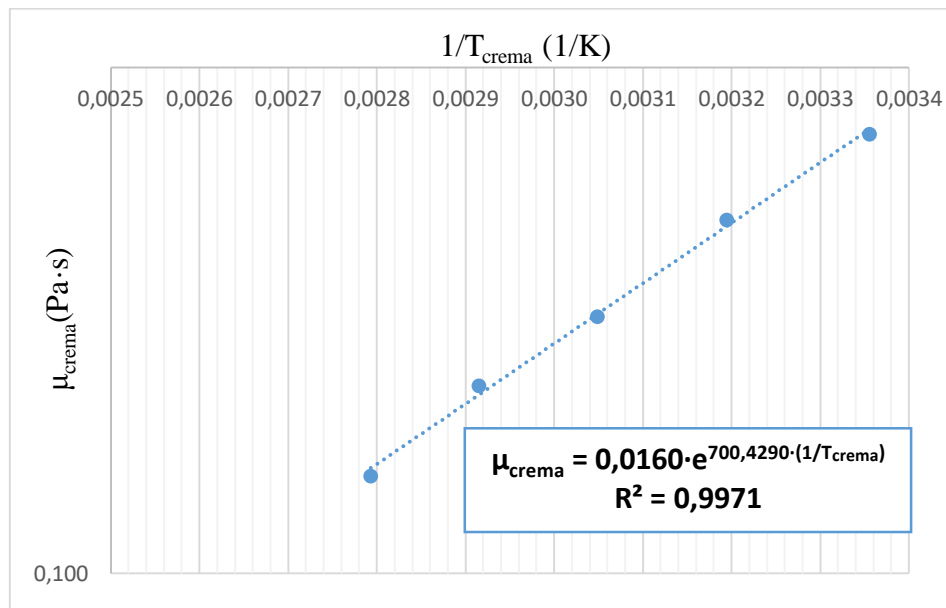
Donde las unidades de  $\mu$  son  $\text{Pa}\cdot\text{s}$  y las de  $\gamma$   $\text{s}^{-1}$ .

Este proceso se realiza para el resto de temperaturas de forma que se obtienen los valores de la **Tabla 10**.

**Tabla 10:** Valores de viscosidad para cada temperatura (a  $60,23 \text{ s}^{-1}$ ).

<b>Gradiente de velocidad: <math>60,23 \text{ s}^{-1}</math></b>	
<b>Temperatura (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Viscosidad (<math>\text{Pa}\cdot\text{s}</math>)</b>
25	0,167
40	0,151
55	0,135
70	0,124
85	0,112

Con estos valores y considerando que la variación de la temperatura del protector solar viene dada por una expresión tipo Arrhenius, se obtiene la **Figura 15** en la que se ha representado en escala semilogarítmica la viscosidad del protector solar ( $\mu_{\text{crema}}$ ) frente a la inversa de la temperatura del producto ( $1/T_{\text{crema}}$ ).



**Figura 15:** Representación de la viscosidad frente a  $1/T$ .

A partir del ajuste de la **Figura 15**, ecuación (42), se pueden obtener los valores de viscosidad del protector solar ( $\mu_{\text{crema}}$ ) a cualquier temperatura en el intervalo de operación ( $25\text{-}85^{\circ}\text{C}$ ).

$$\mu_{\text{crema}} = 0,0160 \cdot e^{700,4290 \cdot \left(\frac{1}{T_{\text{crema}}}\right)} \quad (42)$$

Donde  $T_{crema}$  es en K y  $\mu_{crema}$  en Pa·S.

A continuación, se calcula el coeficiente individual de transmisión de calor de la crema ( $h_i$ ), el coeficiente global de transmisión de calor referido al área interna ( $U_i$ ) y el calor transferido ( $q$ ) a las diferentes temperaturas para las que se ha realizado el estudio del comportamiento reológico del protector solar, desde la inicial, (25°C) hasta la final requerida (85°C). Estos parámetros se obtienen a partir de las siguientes ecuaciones.

$$h_i = \frac{Nu \cdot k_{crema}}{d_i} \quad (43)$$

$$\frac{1}{U_i} = \frac{1}{h_e} \cdot \frac{A_i}{A_o} + \frac{e}{k_{acero}} \cdot \frac{A_i}{A_m} + \frac{1}{h_i} \quad (44)$$

$$q = U_i \cdot A_i \cdot \Delta T \quad (45)$$

Siendo:

- **e**: espesor del tanque (m).
- **k<sub>crema</sub>**: conductividad del protector solar (W/(m·K)).
- **k<sub>acero</sub>**: conductividad del acero AISI 316 (W/(m·K)).
- **A<sub>i</sub>**: área interna del tanque (m<sup>2</sup>).
- **A<sub>o</sub>**: área externa del tanque (m<sup>2</sup>).
- **A<sub>m</sub>**: área media (m<sup>2</sup>). Corresponde a la suma de el área media logarítmica ( $A_{ml}$ ), que se aplica únicamente a la virola cilíndrica, y el área media geométrica ( $A_{mg}$ ), que se aplica al fondo semiesférico.

$$A_m = A_{ml} + A_{mg}$$

$$A_{ml} = \frac{A_{ev} - A_{iv}}{\ln\left(\frac{A_{ev}}{A_{iv}}\right)} = \frac{[2 \cdot \pi \cdot (r_t + 2 \cdot e) \cdot h] - [2 \cdot \pi \cdot r_t \cdot h]}{\ln\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot (r_t + 2 \cdot e) \cdot h}{2 \cdot \pi \cdot r_t \cdot h}\right)}$$

$$A_{ml} = \frac{[2 \cdot \pi \cdot (0,5 + 2 \cdot 0,005) \cdot 0,5] - [2 \cdot \pi \cdot 0,5 \cdot 0,5]}{\ln\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot (0,5 + 2 \cdot 0,005) \cdot 0,5}{2 \cdot \pi \cdot 0,005 \cdot 0,5}\right)} = 1,5864 \text{ m}^2$$

$$A_{mg} = 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_o}{2} \cdot \frac{d_i}{2}\right) = 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{1,01}{2} \cdot \frac{1}{2}\right) = 1,5865 \text{ m}^2$$

Por lo que:

$$A_m = 1,5864 + 1,5865 = 3,173 \text{ m}^2$$

Donde:

- $A_{ev}$ : área externa de la virola cilíndrica ( $\text{m}^2$ ).
- $A_{iv}$ : área interna de la virola cilíndrica ( $\text{m}^2$ ).
- $r_i$ : radio interno del tanque (m).
- $h$ : altura de la virola cilíndrica (m).
- $d_o$ : diámetro externo del tanque (m).
- $d_i$ : diámetro interno del tanque (m).

Para resolver las ecuaciones anteriores, es necesario realizar un proceso iterativo, que se divide en varios pasos detallados a continuación.

1. Para diferentes valores de temperatura del protector solar ( $T_{crema}$ ) comprendidos entre las temperaturas inicial y final de la crema (25°C, 35°C, 45°C, 55°C, 65°C, 75°C y 85°C), se supone una temperatura de pared interior del tanque ( $T_{IntSup}$ ), comenzando por 95°C ya que ésta es el máximo valor de temperatura que puede alcanzar debido a que el agua de la camisa está a dicha temperatura y en continua circulación.
2. Se obtiene la temperatura media ( $T_{media}$ ) entre  $T_{crema}$  y  $T_{IntSup}$  y se calcula la viscosidad del protector solar a esta nueva temperatura ( $\mu (T_{media})$ ) mediante la ecuación de Arrhenius obtenida de la representación gráfica de la **Figura 15**.

$$T_{media} = T_{crema} + T_{IntSup} \quad (46)$$

$$\mu (T_{media}) = 0,0160 \cdot e^{700,4290 \cdot \frac{1}{(T_{media} + 273)}} \quad (47)$$

3. Se calcula la viscosidad de la crema a la temperatura de la pared interna supuesta ( $\mu (T_{IntSup})$ ) del mismo modo que se ha obtenido la viscosidad en el paso 2.

$$\mu (T_{IntSup}) = 0,0160 \cdot e^{700,4290 \cdot \frac{1}{(T_{IntSup} + 273)}} \quad (48)$$

4. Se obtiene el valor del número de Reynolds a la temperatura media calculada en el paso 2.

$$Re = \frac{D_a^2 \cdot n \cdot \rho_{crema}}{\mu (T_{media})} \quad (49)$$

5. Se calcula el valor del número de Prandtl a la temperatura media calculada en el paso 2.

$$Pr = \frac{C_{pcrema} \cdot \mu (T_{media})}{k_{crema}} \quad (50)$$

6. Se calcula el cociente de viscosidades para la temperatura media y la temperatura de pared interna supuesta.

$$\frac{\mu (T_{media})}{\mu (T_{IntSup})} \quad (51)$$

7. Se obtiene el valor del número de Nusselt.

$$Nu = a \cdot Re^b \cdot Pr^c \cdot \left( \frac{\mu (T_{media})}{\mu (T_{IntSup})} \right)^d \quad (52)$$

Siendo,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $d$  constantes que dependen del tipo de impulsor del sistema, en este caso para un impulsor de turbina de disco y palas la ecuación (52) resulta:

$$Nu = 0,54 \cdot Re^{\frac{2}{3}} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{\mu (T_{media})}{\mu (T_{IntSup})} \right)^{0,14} \quad (53)$$

8. El paso siguiente es calcular el valor del coeficiente individual de transmisión de calor del protector solar ( $h_i$ ) mediante la ecuación (43).

$$h_i = \frac{Nu \cdot k_{crema}}{d_i}$$

9. Una vez conocidos todos los parámetros de la ecuación (44), se obtiene el valor del coeficiente global interno de transmisión de calor referido al área interna.

$$\frac{1}{U_i} = \frac{1}{h_e} \cdot \frac{A_i}{A_o} + \frac{e}{k_{acero}} \cdot \frac{A_i}{A_m} + \frac{1}{h_i}$$

$$U_i = h_e \cdot \frac{A_o}{A_i} + \frac{k_{\text{acero}}}{e} \cdot \frac{A_m}{A_i} + h_i \quad (54)$$

Siendo:

- $k_{\text{acero}}$ : conductividad del acero en  $W/(m \cdot K)$ . Su valor es de 0,677.
- $e$ : espesor del tanque (virola, tapa y fondo) en metros. Su valor es de 0,005.
- $A_m$ : área media en metros. Su valor es de 3,173.

10. A partir del coeficiente global interno de transmisión de calor y con la ecuación (45), se obtiene el calor transferido del agua al protector solar cuando éste se encuentra a la temperatura considerada ( $25^\circ\text{C}$ , en este caso), ecuación (55).

$$q = U_i \cdot A_i \cdot \Delta T$$

$$q = U_i \cdot A_i \cdot (95 - T_{\text{crema}}) \quad (55)$$

En este caso el incremento de temperatura tiene un término constante e igual a  $95^\circ\text{C}$  debido a que es la temperatura del agua, que se puede considerar constante por encontrarse ésta en continua circulación.

11. El calor transferido se puede expresar en función de los coeficientes individuales de transmisión de calor, ecuaciones (56) y (57), y mediante la ley de Fourier, ecuación (58).

$$q = h_i \cdot A_i \cdot (T_{\text{Int}} - T_{\text{crema}}) \quad (56)$$

$$q = h_o \cdot A_o \cdot (95 - T_{\text{Ext}}) \quad (57)$$

$$q = \frac{k_{\text{acero}}}{e} \cdot A_m \cdot (T_{\text{Ext}} - T_{\text{Int}}) \quad (58)$$

Donde  $T_{\text{int}}$  y  $T_{\text{ext}}$  son las temperaturas de la pared interior y exterior del tanque, respectivamente.

Con el valor del calor transferido obtenido en el paso 10 a partir de la ecuación (55) y utilizando la ecuación (56) se calcula el valor de la temperatura interior de la pared ( $T_{\text{Int}}$ ), que se obtiene para cada temperatura de crema ( $T_{\text{crema}}$ ). Este valor será la nueva temperatura de pared interior supuesta ( $T_{\text{IntSup}}$ ) de la siguiente iteración, para una misma temperatura de crema, repitiéndose este proceso hasta



que se obtenga un valor de temperatura interna de pared calculada igual o similar que el de la temperatura interna de pared supuesta.

$$T_{Int} = \frac{q}{h_i \cdot A_i} + T_{crema}$$

Una vez se consigue que  $T_{Int} \approx T_{IntSup}$  se empieza una nueva iteración para la siguiente temperatura del protector solar ( $T_{crema}$ ) seleccionada, en el intervalo de operación (25-85°C).

En cada iteración se calcula la temperatura externa de la pared y la diferencia de temperatura que sufre la pared a partir de las ecuaciones (57) y (58) respectivamente y teniendo en cuenta el valor del calor transferido obtenido con la ecuación (55).

$$T_{Ext} = 95 - \frac{q}{h_o \cdot A_o}$$

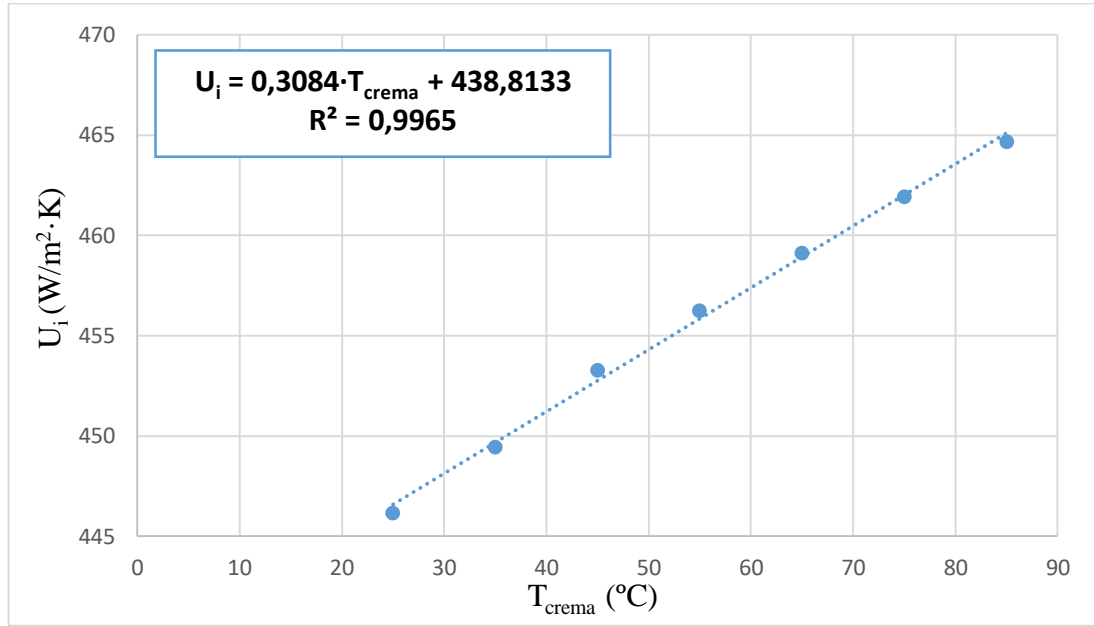
$$(T_{Ext} - T_{Int}) = \Delta T_{pared} = \frac{q \cdot e}{k_{acero}}$$

Los resultados obtenidos con el proceso descrito en los 11 pasos anteriores se recogen en la **Tabla 11**.

Tabla 11: Cálculo de  $h$  y  $U_i$  y  $q$ .

Temperatura (°C)	T <sub>intSup</sub> (°C)	T <sub>media</sub> (°C)	$\mu$ (T <sub>media</sub> ) (Pa·s)	$\mu$ (T <sub>intSup</sub> ) (Pa·s)	Re	Pr	$\mu_{media}/\mu_{intSup}$	Nu	$h$ (W/(m <sup>2</sup> ·K))	$1/U_i$ (m <sup>2</sup> ·K/W)	$U_i$ (W/(m <sup>2</sup> ·K))	$q$ (W)	$\Delta T_{pared}$ (°C)	T <sub>Ext</sub> (°C)	T <sub>int</sub> (°C)
25	95,000	60,000	0,131	0,107	3488,722	767,545	1,221	1169,596	771,934	0,00219	456,835	100463,352	9,894	76,321	66,426
25	66,426	45,713	0,144	0,126	3174,811	843,437	1,144	1122,994	741,176	0,00224	445,885	98055,201	9,657	76,769	67,111
25	67,111	46,056	0,144	0,125	3182,309	841,450	1,146	1124,160	741,945	0,00224	446,163	98116,429	9,663	76,757	67,094
25	67,094	46,047	0,144	0,125	3182,118	841,500	1,146	1124,130	741,926	0,00224	446,136	98114,874	9,663	76,758	67,094
25	67,094	46,047	0,144	0,125	3182,123	841,499	1,146	1124,131	741,926	0,00224	446,136	98114,914	9,663	76,758	67,094
35	95,000	65,000	0,127	0,107	3598,981	744,031	1,184	1176,653	776,591	0,00218	458,463	86418,177	8,511	78,932	70,421
35	70,421	52,711	0,137	0,123	3328,299	804,541	1,117	1137,106	750,490	0,00223	449,239	84679,550	8,340	79,256	70,916
35	70,916	52,958	0,137	0,123	3333,733	803,229	1,119	1137,932	751,035	0,00223	449,434	84716,349	8,344	79,249	70,905
35	70,905	52,953	0,137	0,123	3333,618	803,257	1,119	1137,914	751,023	0,00223	449,430	84715,571	8,344	79,249	70,905
35	70,905	52,953	0,137	0,123	3333,620	803,256	1,119	1137,915	751,024	0,00223	449,430	84715,587	8,344	79,249	70,905
45	95,000	70,000	0,123	0,107	3709,358	721,891	1,149	1183,545	781,140	0,00217	460,044	72263,271	7,117	81,564	74,447
45	74,447	59,723	0,131	0,120	3482,629	768,888	1,093	1150,916	759,604	0,00221	452,489	41859,936	4,123	80,900	76,778
45	76,778	60,889	0,130	0,119	3508,311	763,259	1,100	1154,721	762,116	0,00221	453,379	45261,979	4,458	80,971	76,314
45	76,514	60,757	0,130	0,119	3505,401	763,893	1,099	1154,292	761,832	0,00221	453,279	44875,855	4,420	80,963	76,344
45	76,544	60,772	0,130	0,119	3505,731	763,821	1,099	1154,340	761,865	0,00221	453,290	44919,607	4,424	80,964	76,340
55	95,000	75,000	0,120	0,107	3819,803	701,018	1,116	1190,278	785,583	0,00217	461,582	58004,083	5,713	84,215	78,503
55	78,503	66,751	0,126	0,117	3637,631	736,125	1,071	1164,432	768,525	0,00219	455,639	33642,440	3,313	83,634	80,320
55	80,320	67,660	0,125	0,116	3657,692	732,088	1,076	1167,345	770,447	0,00219	456,314	36297,911	3,575	83,695	80,120
55	80,120	67,560	0,125	0,116	3655,485	732,530	1,076	1167,025	770,236	0,00219	456,240	36005,397	3,546	83,688	80,142
55	80,142	67,571	0,125	0,116	3655,728	732,481	1,076	1167,060	770,260	0,00219	456,249	36037,580	3,549	83,689	80,140
65	95,000	80,000	0,116	0,107	3930,268	681,315	1,084	1196,857	789,925	0,00216	463,077	43644,014	4,298	86,885	82,587
65	82,587	73,793	0,121	0,115	3793,148	705,945	1,051	1177,662	777,257	0,00218	458,695	25343,245	2,496	86,412	83,916
65	83,916	74,458	0,120	0,114	3807,829	703,223	1,055	1179,753	778,637	0,00218	459,175	27287,097	2,687	86,461	83,774
65	83,774	74,387	0,120	0,114	3806,260	703,513	1,054	1179,530	778,490	0,00218	459,124	27079,136	2,667	86,456	83,789
65	83,789	74,395	0,120	0,114	3806,427	703,482	1,055	1179,533	778,505	0,00218	459,129	27101,359	2,669	86,457	83,787
75	95,000	85,000	0,113	0,107	4040,709	662,694	1,055	1203,286	794,169	0,00215	464,533	29187,439	2,875	89,573	86,699
75	86,699	80,849	0,116	0,112	3949,031	678,078	1,033	1190,615	785,806	0,00217	461,658	16966,955	1,671	89,234	87,563
75	87,563	81,281	0,116	0,112	3958,575	676,443	1,035	1191,949	786,686	0,00216	461,962	18232,193	1,796	89,269	87,473
75	87,473	81,256	0,116	0,112	3957,583	676,613	1,035	1191,810	786,595	0,00216	461,931	18100,622	1,783	89,265	87,482
75	87,482	81,241	0,116	0,112	3957,686	676,593	1,035	1191,825	786,604	0,00216	461,934	18114,298	1,784	89,265	87,481
85	95,000	90,000	0,110	0,107	4151,083	645,073	1,027	1209,572	798,317	0,00215	465,949	14638,214	1,442	92,278	90,837
85	90,837	87,918	0,111	0,110	4105,141	652,292	1,016	1203,298	794,176	0,00215	464,555	8517,869	0,839	92,097	91,258
85	91,258	88,129	0,111	0,109	4109,792	651,554	1,017	1203,936	794,598	0,00215	464,679	9135,706	0,900	92,115	91,215
85	91,215	88,108	0,111	0,109	4109,322	651,629	1,017	1203,872	794,555	0,00215	464,665	9073,214	0,894	92,113	91,220
85	91,220	88,110	0,111	0,109	4109,370	651,621	1,017	1203,878	794,560	0,00215	464,666	9079,534	0,894	92,114	91,219

A partir de los valores de coeficiente global de transmisión de calor para cada temperatura del protector solar, es decir, para cada proceso iterativo, se realiza una representación gráfica (**Figura 16**) de éstos respecto a la temperatura de la crema. Esta representación se ajusta a una recta y su ecuación muestra la variación del coeficiente global con la temperatura de la crema.



**Figura 16:** Representación de  $U_i$  frente a  $T_{crema}$ .

La variación del coeficiente global interno de transmisión de calor viene determinada por la ecuación de la recta siendo esta la que se muestra en la ecuación (59).

$$U_i = 0,3084 \cdot T_{crema} + 438,8133 \quad (59)$$

A continuación, para conocer el tiempo que transcurrirá hasta que el protector solar alcance 85°C (t), se hace uso del balance de energía al sistema que se ha planteado al comienzo de este anexo, ecuación 31.

$$dq = m_{crema} \cdot C_{pcrema} \cdot \frac{d(T)}{dt} = U_i \cdot A_i \cdot (95 - T_{crema})$$

Separando términos a ambos lados:

$$dt = m_{crema} \cdot C_{pcrema} \cdot \int_{25}^{85} \frac{1}{U_i \cdot A_i \cdot (95 - T_{crema})} dT$$

Donde:

- $m_{crema}$ : masa de protector solar en el tanque. Su valor es 525 kg.

- $C_{\text{pcrema}}$ : calor específico de la crema. Su valor es 3864 J/(kg·K).
- $A_i$ : es el área interna del tanque en m<sup>2</sup>.

$$A_i = 2 \cdot \pi \cdot r_t \cdot h + 2 \cdot \pi \cdot r_t^2 = 2 \cdot \pi \cdot 0,5 \cdot 0,5 + 2 \cdot \pi \cdot 0,5^2 = 3,142 \text{ m}^2$$

- $U_i$  se sustituye por la ecuación (59).

$$\int_0^t dt = 525 \cdot 3864 \cdot \int_{25}^{85} \frac{1}{0,3084 \cdot T_{\text{crema}} + 438,8133 \cdot 3,142 \cdot (95 - T_{\text{crema}})} dT \quad (60)$$

$$t = 525 \cdot 3864 \cdot \int_{25}^{85} \frac{1}{0,3084 \cdot T_{\text{crema}} + 438,8133 \cdot 3,142 \cdot (95 - T_{\text{crema}})} dT = 2861,041 \text{ s}$$

$$t = 2861,041 \text{ segundos} = 47,684 \text{ minutos}$$

Para que el protector solar pase de su temperatura inicial, 25°C, hasta la temperatura óptima requerida por el filtro solar, 85°C, deberán transcurrir 47,7 minutos. Estos resultados se han obtenido sin considerar pérdidas de calor al ambiente, ya que por experiencia previa del laboratorio de cosmética éstas son despreciables, por lo que se estima que el proceso de calentamiento será de aproximadamente 50 minutos, lo que es un valor razonable.

### **Entradas y salida de agua de la camisa de calentamiento**

Para asegurar que el proceso de calentamiento sea óptimo, el agua caliente a 95°C accederá a la camisa a través de cuatro entradas situadas en la parte superior del tanque y saldrá de la camisa por una salida situada en el fondo del tanque.

El diseño de las entradas y la salida consiste en determinar el diámetro de éstas y el caudal que fluirá a través de ellas.

A partir de la velocidad de circulación del agua por la camisa de calentamiento, se determina el caudal total de agua que entra en la misma ( $Q_{va}$ ).

La velocidad del agua ( $v_a$ ) es de 0,3 m/s, siendo este valor el más común para la circulación de agua por la coraza de un intercambiador de calor y considerándose el espacio de la camisa similar a la coraza.

$$Q_{va} = v_a \cdot S \quad (61)$$

Siendo  $S$  la sección de paso del agua.

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot (D_i^2 - d_o^2) \quad (62)$$

$$Q_{va} = 0,3 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (1,17^2 - 1,01^2) = \mathbf{0,082 \text{ m}^3/\text{s}}$$

El caudal total de agua se distribuye en 4 entradas, por tanto el caudal que accederá a la camisa a través de cada entrada es el siguiente:

$$Q_{va1} = Q_{va2} = Q_{va3} = Q_{va4} = Q_{vai} = \frac{Q_{va}}{4} = \frac{0,082}{4} = \mathbf{0,0205 \text{ m}^3/\text{s}}$$

En cuanto a la velocidad de circulación del agua a través de las entradas ( $v_{ae}$ ), la velocidad más común del agua, en procesos industriales, cuando circula por tuberías de aluminio, como es el caso, es de 2 m/s por ello se toma este valor para obtener una aproximación del diámetro de las entradas ( $d_e$ ).

$$v_{ae} = \frac{Q_{vi}}{\frac{\pi}{4} \cdot d_e^2} \quad (63)$$

$$v_{ae} = \frac{0,021}{\frac{\pi}{4} \cdot d_e^2} = 2 \rightarrow \mathbf{d_e = 0,116 \text{ m}}$$

Se toma un valor de 12 centímetros para el diámetro de cada entrada y se recalcula la velocidad de circulación del agua por cada una de ellas a partir de la ecuación (63).

$$v_{ae} = \frac{0,021}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,12^2} = 1,86 \text{ m/s}$$

Puesto que el tanque solo tendrá una salida para el agua que circula por la camisa, el caudal de agua será de 0,082 m<sup>3</sup>/s.

Del mismo modo que se ha realizado el cálculo del diámetro de las tuberías de entrada, se calcula el diámetro de la tubería de salida.

$$v_{as} = \frac{0,082}{\frac{\pi}{4} \cdot d_s^2} = 2 \rightarrow \mathbf{d_s = 0,228 \text{ m}}$$

Siendo  $v_{as}$  la velocidad del agua a la salida y  $d_s$  el diámetro de la salida.

El diámetro de la tubería de salida será de 23 centímetros y, por tanto, la velocidad de circulación del agua a través de esta será la siguiente.

$$v_{as} = \frac{0,082}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,23^2} = 1,97 \text{ m/s}$$

## **4. PLANOS**





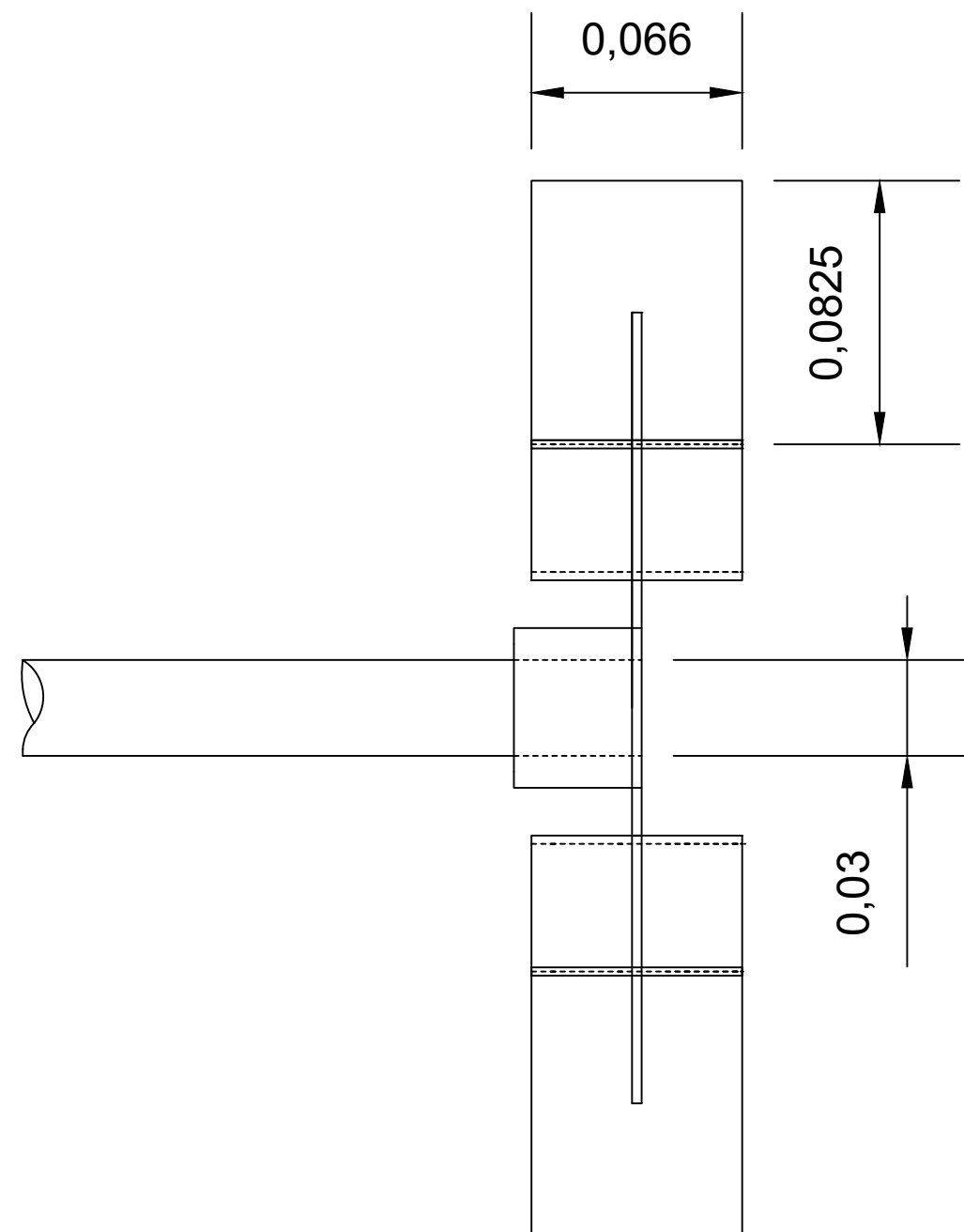
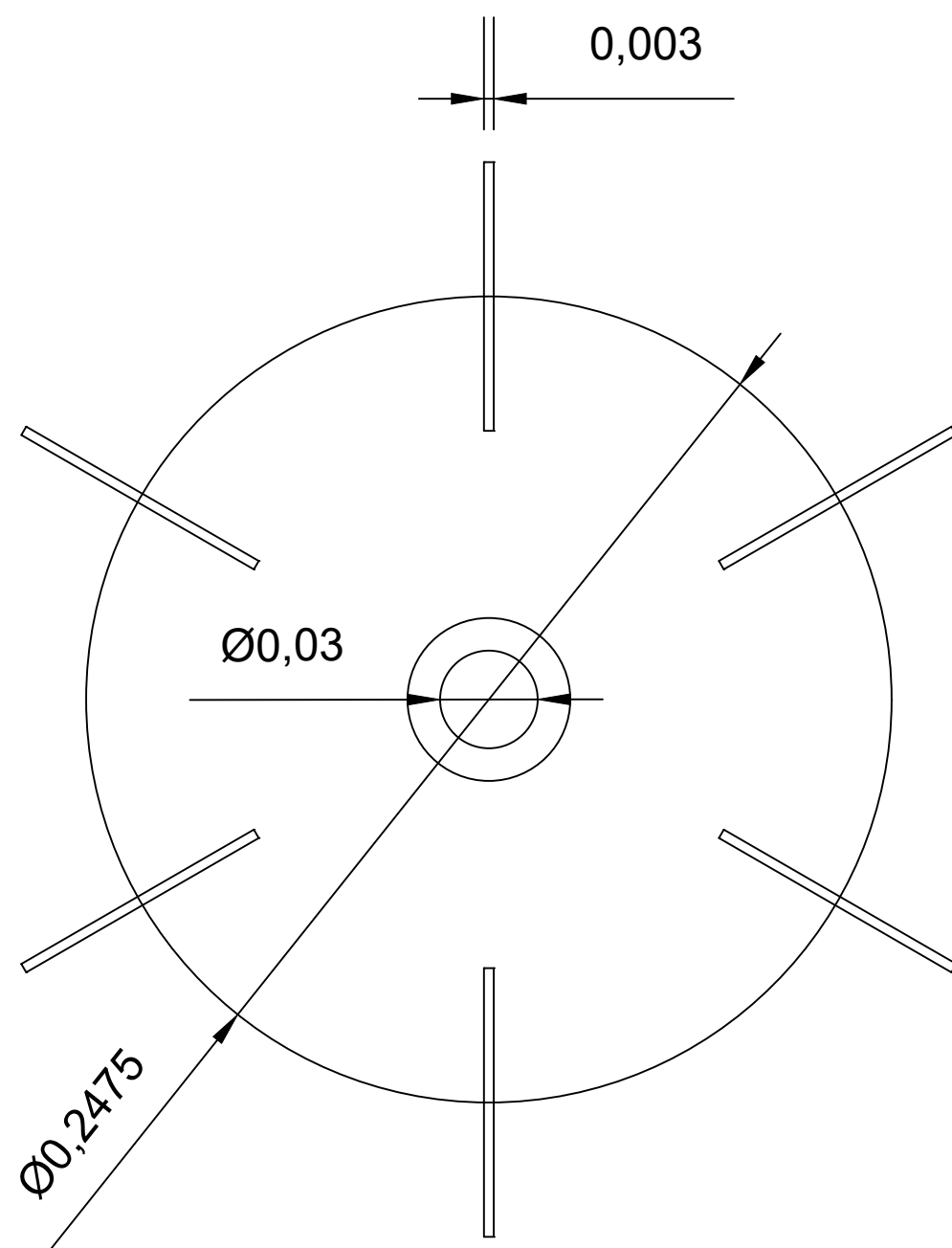
## ÍNDICE


PLANO 1: TANQUE MEZCLADOR (CORTE)

PLANO 2: IMPULSOR







FECHA: FEBRERO 2020	AUTOR: PAULA MARTÍNEZ AGUILELLA	 UNIVERSITAT JAUME I
ESCALA: 9:20	TÍTULO: IMPULSOR	
PLANO: 2/2	DISEÑO DE UN TANQUE MEZCLADOR CON SISTEMA DE CALENTAMIENTO PARA LA PRODUCCIÓN DE PROTECTORES SOLARES.	





## **5. PLIEGO DE CONDICIONES**





## ÍNDICE

1. PLIEGO GENERAL DE CLÁUSULAS ADMINISTRATIVAS .....	3
CAPÍTULO I. Disposiciones generales .....	3
1.1. Objeto del pliego de condiciones .....	3
1.2. Contrato de obra.....	3
1.3. Documentación del contrato de obra.....	3
CAPÍTULO II. Disposiciones facultativas.....	4
1.1. Delimitación de las funciones de los agentes intervinientes .....	4
CAPÍTULO III. Disposiciones económicas .....	7
3.1. Contrato de obra .....	7
3.2. Criterio General.....	8
3.3. Fianzas .....	8
3.4. Precios.....	9
3.5. Valoración y abono de los trabajos .....	10
3.6. Indemnizaciones Mutuas .....	12
3.7. Retenciones en concepto de garantía.....	12
3.8. Plazos de ejecución: <i>Planning</i> de obra.....	13
3.9. Liquidación económica de las obras.....	13
3.10. Liquidación final de la obra .....	13
2. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES .....	15
CAPÍTULO IV. Prescripciones sobre materiales .....	17
4.1. Aceros .....	17
4.2. Motor eléctrico .....	18
4.3. Soldadura .....	19



## **1. PLIEGO GENERAL DE CLÁUSULAS ADMINISTRATIVAS**

### **CAPÍTULO I. Disposiciones generales**

#### **1.1. Objeto del pliego de condiciones**

El Pliego de Condiciones del proyecto es, desde el punto de vista legal y contractual, el documento más importante del proyecto a la hora de su ejecución material.

Tiene como finalidad regular los derechos, responsabilidades, obligaciones y garantías mutuas entre el promotor del proyecto, y el contratista que lo va a ejecutar y constituye el anejo fundamental del contrato que ambas suscriben. Precisa la forma de operar durante el desarrollo de los trabajos y colabora a evitar discusiones costosas e innecesarias ayudando a tomar decisiones con rapidez y eficacia.

#### **1.2. Contrato de obra**

El contrato de obra es el concierto de voluntades por el contratista se compromete a ejecutar una obra a favor de otra que, en contraprestación de lo obtenido, se obliga a entregar un precio cierto o remuneración. El contrato de obra se delimita conforme al criterio de resultado, ya que el contratista se obliga a garantizarlo.

La obligación de resultado no se agota con la ejecución de la obra sino que ésta ha de reunir las cualidades prometidas y no tener vicios ni defectos que eliminen o disminuyan el valor o la utilidad exigida por el directo de obra.

#### **1.3. Documentación del contrato de obra**

Forman parte del contrato de obra, el presupuesto de la obra firmado por ambas partes y el proyecto íntegro. Para evitar que existan contradicciones, la prelación que rige en el presente proyecto es la siguiente:

- Las condiciones fijadas en el propio documento de contrato de obra.
- El Pliego de Condiciones.
- El resto de documentos de este proyecto (Memoria, Planos, Mediciones y Presupuesto).

## **CAPÍTULO II. Disposiciones facultativas**

### **1.1. Delimitación de las funciones de los agentes intervinientes**

#### **➤ Promotor**

Será promotor cualquier persona, física o jurídica, pública o privada, que, individual o colectivamente decida, impulse, programe o financie, con recursos propios o ajenos, una ingeniería para sí o para su posterior enajenación, entrega o cesión a terceros bajo cualquier título.

Son obligaciones del promotor:

- a. Facilitar la documentación e información previa necesaria para la redacción del proyecto, así como autorizar al director de obra las posteriores modificaciones del mismo.
- b. Gestionar y obtener las preceptivas licencias y autorizaciones administrativas, así como suscribir el acta de recepción de la obra.
- c. Designar al coordinador de seguridad y salud para el proyecto y la ejecución de la obra.
- d. Suscribir los seguros previstos en la LOE.
- e. Entregar al adquirente, en su caso, la documentación de obra ejecutada, o cualquier otro documento exigible por las administraciones competentes.

#### **➤ Projectista**

El projectista de un proyecto en construcción, ingeniería u obra civil es aquél agente que se ocupa por encargo de un promotor, de redactar el plan de obra o “proyecto de obra” conforme a las leyes vigentes.

Éste puede redactar el proyecto en su totalidad o pudiendo existir distintos projectistas que se encarguen parcialmente del planteamiento de estos documentos de la obra que sirven como hoja de ruta a la hora de la ejecución.

Cada plan de proyecto redactado tendrá la titularidad, y, por tanto, la autoría, mérito y responsabilidad civil de su autor, el projectista.

Son obligaciones del proyectista:

- a. Estar en posesión de la titulación académica y profesional habilitante de arquitecto, arquitecto técnico o ingeniero técnico, según corresponda, y cumplir las condiciones exigibles para el ejercicio de la profesión. En caso de personas jurídicas, designar al técnico redactor del proyecto que tenga la titulación profesional habilitante.
- b. Redactar el proyecto con sujeción a la normativa vigente y a lo que se haya establecido en el contrato y entregarlo, con los visados que en su caso fueran preceptivos.
- c. Acordar, en su caso, con el promotor la contratación de colaboraciones parciales.

➤ **Contratista**

Es la persona física o jurídica que asume contractualmente ante el promotor, con medios humanos y materiales, propios o ajenos, el compromiso de ejecutar la totalidad o parte de las obras con sujeción al proyecto y al contrato.

Son obligaciones del constructor:

- a. Ejecutar la obra con sujeción al proyecto, a la legislación aplicable y a las instrucciones del director de obra y del director de la ejecución de la obra, a fin de alcanzar la calidad exigida en el proyecto.
- b. Tener la titulación o capacitación profesional que habilita para el cumplimiento de las condiciones exigibles para actuar como constructor.
- c. Formalizar las subcontrataciones de determinadas partes o instalaciones de la obra dentro de los límites establecidos en el contrato.
- d. Firmar el acta de replanteo o de comienzo y el acta de recepción de la obra.
- e. Ordenar y dirigir la ejecución material con arreglo al proyecto, a las normas técnicas y a las reglas de la buena construcción. A tal efecto, ostenta la jefatura de todo el personal que intervenga en la obra y coordina las intervenciones de los subcontratistas.
- f. Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales y elementos constructivos que se utilicen, comprobando los preparados en obra y rechazando, por iniciativa propia o por prescripción del aparejador o arquitecto técnico, los

suministros o prefabricados que no cuenten con las garantías o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación.

- g. Custodiar los libros de órdenes y seguimiento de la obra, así como los de seguridad y salud y el del control de calidad, éstos si los hubiere, y dar el enterado a las anotaciones que en ellos se practiquen.
- h. Suscribir con el promotor las actas de recepción provisional y definitiva.
- i. Concertar los seguros de accidentes de trabajo y de daños a terceros durante la obra.
- j. Facilitar al director de obra los datos necesarios para la elaboración de la documentación de la obra ejecutada.
- k. Suscribir las garantías por daños materiales ocasionados por vicios y defectos de la construcción previstas en el artículo 19 de la LOE.

### **CAPÍTULO III. Disposiciones económicas**

Las disposiciones económicas regulan las relaciones económicas entre el Promotor y el Contratista, y la función de control que ejerce la Dirección de Obra.

#### **3.1. Contrato de obra**

Se aconseja que se firme el contrato de obra, entre el Promotor y el Contratista, antes de iniciarse las obras, evitando en lo posible la realización de la obra por administración. A la Dirección Facultativa (Director de Obra y Director de Ejecución de la Obra) se le facilitará una copia del contrato de obra, para poder certificar en los términos pactados.

Sólo se aconseja contratar por administración aquellas partidas de obra irrelevantes y de difícil cuantificación, o cuando se desee un acabado muy esmerado.

El contrato de obra deberá prever las posibles interpretaciones y discrepancias que pudieran surgir entre las partes, así como garantizar que la Dirección Facultativa pueda, de hecho, coordinar, dirigir y controlar la obra, por lo que es conveniente que se especifiquen y determinen con claridad, como mínimo, los siguientes puntos:

- Documentos a aportar por el Contratista.
- Condiciones de ocupación del solar e inicio de las obras.
- Determinación de los gastos de enganches y consumos.
- Responsabilidades y obligaciones del Contratista: Legislación laboral.
- Responsabilidades y obligaciones del Promotor.
- Presupuesto del Contratista.
- Revisión de precios (en su caso).
- Forma de pago: Certificaciones.
- Retenciones en concepto de garantía (nunca menos del 5%).
- Plazos de ejecución: Planning.
- Retraso de la obra: Penalizaciones.
- Recepción de la obra: Provisional y definitiva.
- Litigio entre las partes.

Dado que este Pliego de Condiciones Económicas es complemento del contrato de obra, en caso de que no exista contrato de obra alguno entre las partes se le comunicará a la Dirección Facultativa, que pondrá a disposición de las partes el presente Pliego de

Condiciones Económicas que podrá ser usado como base para la redacción del correspondiente contrato de obra.

### **3.2. Criterio General**

Todos los agentes que intervienen en el proceso de la construcción, definidos en la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación (L.O.E.), tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas, pudiendo exigirse recíprocamente las garantías suficientes para el cumplimiento diligente de sus obligaciones de pago.

### **3.3. Fianzas**

El Contratista presentará una fianza con arreglo al procedimiento que se estipule en el contrato de obra:

#### **➤ Ejecución de trabajos con cargo a la fianza**

Si el contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el Director de Obra, en nombre y representación del Promotor, los ordenará ejecutar a un tercero, o podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el Promotor, en el caso de que el importe de la fianza no bastase para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

#### **➤ Devolución de las fianzas**

La fianza recibida será devuelta al Contratista en un plazo establecido en el contrato de obra, una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. El Promotor podrá exigir que el Contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas causadas por la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros y subcontratos.

#### **➤ Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales**

Si el Promotor, con la conformidad del Director de Obra, accediera a hacer recepciones parciales, tendrá derecho el Contratista a que se le devuelva la parte proporcional de la fianza.



### **3.4. Precios**

El objetivo principal de la elaboración del presupuesto es anticipar el coste del proceso de construir la obra. Descompondremos el presupuesto en unidades de obra, componente menor que se contrata y certifica por separado, y basándonos en esos precios, calcularemos el presupuesto.

#### **➤ Precio básico**

Es el precio por unidad (ud, m, kg, etc.) de un material dispuesto a pie de obra, (incluido su transporte a obra, descarga en obra, embalajes, etc.) o el precio por hora de la maquinaria y de la mano de obra.

#### **➤ Presupuesto de Ejecución Material (PEM)**

Es el resultado de la suma de los precios unitarios de las diferentes unidades de obra que la componen.

Se denomina Presupuesto de Ejecución Material al resultado obtenido por la suma de los productos del número de cada unidad de obra por su precio unitario y de las partidas alzadas. Es decir, el coste de la obra sin incluir los gastos generales, el beneficio industrial y el impuesto sobre el valor añadido.

#### **➤ Precios contradictorios**

Sólo se producirán precios contradictorios cuando el Promotor, por medio del Director de Obra, decida introducir unidades o cambios de calidad en alguna de las previstas, o cuando sea necesario afrontar alguna circunstancia imprevista.

El Contratista siempre estará obligado a efectuar los cambios indicados.

A falta de acuerdo, el precio se resolverá contradictoriamente entre el Director de Obra y el Contratista antes de comenzar la ejecución de los trabajos y en el plazo que determine el contrato de obra o, en su defecto, antes de quince días hábiles desde que se le comunique fehacientemente al Director de Obra. Si subsiste la diferencia, se acudirá, en primer lugar, al concepto más análogo dentro del cuadro de precios del proyecto y, en segundo lugar, al banco de precios de uso más frecuente en la localidad.

➤ **Reclamación de aumento de precios**

Si el Contratista, antes de la firma del contrato de obra, no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirva de base para la ejecución de las obras.

➤ **Formas tradicionales de medir o de aplicar los precios**

En ningún caso podrá alegar el Contratista los usos y costumbres locales respecto de la aplicación de los precios o de la forma de medir las unidades de obra ejecutadas. Se estará a lo previsto en el Presupuesto y en el criterio de medición en obra recogido en el Pliego.

➤ **Revisión de los precios contratados**

En ningún caso podrá alegar el Contratista los usos y costumbres locales respecto de la aplicación de los precios o de la forma de medir las unidades de obra ejecutadas. Se estará a lo previsto en el Presupuesto y en el criterio de medición en obra recogido en el Pliego.

➤ **Acopio de materiales**

El Contratista queda obligado a ejecutar los acopios de materiales o aparatos de obra que el Promotor ordene por escrito. Los materiales acopiados, una vez abonados por el propietario, son de la exclusiva propiedad de éste, siendo el Contratista responsable de su guarda y conservación.

**3.5. Valoración y abono de los trabajos**

➤ **Forma y plazos de abono de las obras**

Se realizará por certificaciones de obra y se recogerán las condiciones en el contrato de obra establecido entre las partes que intervienen (Promotor y Contratista) que, en definitiva, es el que tiene validez.

Los pagos se efectuarán por la propiedad en los plazos previamente establecidos en el contrato de obra, y su importe corresponderá precisamente al de las certificaciones de la obra conformadas por el Director de Ejecución de la Obra, en virtud de las cuáles se verifican aquéllos.

El Director de Ejecución de la Obra realizará, en la forma y condiciones que establezca el criterio de medición en obra incorporado en las Prescripciones en cuanto a la Ejecución

por unidad de obra, la medición de las unidades de obra ejecutadas durante el período de tiempo anterior, pudiendo el Contratista presenciar la realización de tales mediciones.

Para las obras o partes de obra que, por sus dimensiones y características, hayan de quedar posterior y definitivamente ocultas, el contratista está obligado a avisar al Director de Ejecución de la Obra con la suficiente antelación, a fin de que éste pueda realizar las correspondientes mediciones y toma de datos, levantando los planos que las definan, cuya conformidad suscribirá el Contratista.

A falta de aviso anticipado, cuya existencia corresponde probar al Contratista, queda éste obligado a aceptar las decisiones del Promotor sobre el particular.

➤ **Relaciones valoradas y certificaciones**

En los plazos fijados en el contrato de obra entre el Promotor y el Contratista, éste último formulará una relación valorada de las obras ejecutadas durante las fechas previstas, según la medición practicada por el Director de Ejecución de la Obra.

Las certificaciones de obra serán el resultado de aplicar, a la cantidad de obra realmente ejecutada, los precios contratados de las unidades de obra. Sin embargo, los excesos de obra realizada en unidades, tales como excavaciones y hormigones, que sean imputables al Contratista, no serán objeto de certificación alguna.

Los pagos se efectuarán por el Promotor en los plazos previamente establecidos, y su importe corresponderá al de las certificaciones de obra, conformadas por la Dirección Facultativa. Tendrán el carácter de documento y entregas a buena cuenta, sujetas a las rectificaciones y variaciones que se deriven de la Liquidación Final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones parciales la aceptación, la aprobación, ni la recepción de las obras que comprenden.

Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo a que la valoración se refiere. Si la Dirección Facultativa lo exigiera, las certificaciones se extenderán a origen.

➤ **Mejora de obras libremente ejecutada**

Cuando el Contratista, incluso con la autorización del Director de Obra, emplease materiales de más esmerada preparación o de mayor tamaño que el señalado en el proyecto o sustituyese una clase de fábrica por otra que tuviese asignado mayor precio, o

ejecutase con mayores dimensiones cualquier parte de la obra, o, en general, introdujese en ésta y sin solicitársela, cualquier otra modificación que sea beneficiosa a juicio de la Dirección Facultativa, no tendrá derecho más que al abono de lo que pudiera corresponderle en el caso de que hubiese construido la obra con estricta sujeción a la proyectada y contratada o adjudicada.

### **3.6. Indemnizaciones Mutuas**

#### **➤ Indemnización por retraso del plazo de terminación de las obras**

Si, por causas imputables al Contratista, las obras sufrieran un retraso en su finalización con relación al plazo de ejecución previsto, el Promotor podrá imponer al Contratista, con cargo a la última certificación, las penalizaciones establecidas en el contrato, que nunca serán inferiores al perjuicio que pudiera causar el retraso de la obra.

#### **➤ Demora de los pagos por parte del Promotor**

Se regulará en el contrato de obra las condiciones a cumplir por parte de ambos.

### **3.7. Retenciones en concepto de garantía**

Del importe total de las certificaciones se descontará un porcentaje, que se retendrá en concepto de garantía. Este valor no deberá ser nunca menor del cinco por cien (5%) y responderá de los trabajos mal ejecutados y de los perjuicios que puedan ocasionarle al Promotor.

Esta retención en concepto de garantía quedará en poder del Promotor durante el tiempo designado como periodo de garantía, pudiendo ser dicha retención, "en metálico" o mediante un aval bancario que garantice el importe total de la retención.

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el Director de Obra, en representación del Promotor, los ordenará ejecutar a un tercero, o podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el Promotor, en el caso de que el importe de la fianza no bastase para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

La fianza retenida en concepto de garantía será devuelta al Contratista en el plazo estipulado en el contrato, una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. El promotor podrá exigir que el Contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus

deudas atribuibles a la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros o subcontratos.

### **3.8. Plazos de ejecución: *Planning* de obra**

En el contrato de obra deberán figurar los plazos de ejecución y entregas, tanto totales como parciales. Además, será conveniente adjuntar al respectivo contrato un *Planning* de la ejecución de la obra donde figuren de forma gráfica y detallada la duración de las distintas partidas de obra que deberán conformar las partes contratantes.

### **3.9. Liquidación económica de las obras**

Simultáneamente al libramiento de la última certificación, se procederá al otorgamiento del Acta de Liquidación Económica de las obras, que deberán firmar el Promotor y el Contratista. En este acto se dará por terminada la obra y se entregarán, en su caso, las llaves, los correspondientes boletines debidamente cumplimentados de acuerdo a la Normativa Vigente, así como los proyectos Técnicos y permisos de las instalaciones contratadas.

Dicha Acta de Liquidación Económica servirá de Acta de Recepción Provisional de las obras, para lo cual será conformada por el Promotor, el Contratista, el Director de Obra y el Director de Ejecución de la Obra, quedando desde dicho momento la conservación y custodia de las mismas a cargo del Promotor.

La citada recepción de las obras, provisional y definitiva, queda regulada según se describe en las Disposiciones Generales del presente Pliego.

### **3.10. Liquidación final de la obra**

Entre el Promotor y Contratista, la liquidación de la obra deberá hacerse de acuerdo con las certificaciones conformadas por la Dirección de Obra. Si la liquidación se realizara sin el visto bueno de la Dirección de Obra, ésta sólo mediará, en caso de desavenencia o desacuerdo, en el recurso ante los Tribunales.



## **2. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES**

El presente Pliego de Condiciones Técnicas Particulares (P.C.T.P.), para las obras especificadas en el Proyecto “Diseño de un tanque mezclador con sistema de calentamiento para la producción de protectores solares” constituye el conjunto de instrucciones para el desarrollo de dicha obra, en el que se especifican, como mínimo, las condiciones técnicas referentes a los materiales y a la maquinaria, las indicaciones y los detalles de ejecución y, si procede, el sistema de pruebas a que han de someterse los trabajos.

Así mismo, en los Pliegos de Condiciones Técnicas Particulares se establecen las consideraciones sobre la forma de medir valorar las distintas unidades de obra propuesta.

Todos los materiales a utilizar en la obra, incluidos o no incluidos en este Pliego, habrán de observar las siguientes prescripciones:

- Si las procedencias de materiales fuesen fijadas en los documentos contractuales, el contratista tendrá que utilizarlas obligatoriamente, a menos que haya una autorización expresa del Director de la obra. Si fuese imprescindible a juicio de éste cambiar el origen o procedencia, ello se registrará por lo dispuesto en el art. 29 del Pliego de Condiciones Administrativas Particulares (P.C.A.P.).
- Si por no cumplir las prescripciones del presente Pliego se rechazan los materiales que figuren como utilizables en los documentos informativos, el contratista tendrá la obligación de aportar otros materiales que cumplan las prescripciones, sin que por esto tenga derecho a un nuevo precio unitario.
- El contratista obtendrá a su cargo la autorización para la utilización de préstamos y se hará cargo además, por su cuenta, de todos los gastos, cánones, indemnizaciones, etc. que se presenten.
- El contratista notificará a la Dirección de la obra con suficiente antelación las procedencias de los materiales que se proponga utilizar, aportando las muestras y los datos necesarios, tanto por lo que haga referencia a la calidad como a la cantidad.
- En ningún caso podrán ser acopiados y utilizados en la obra materiales cuya procedencia no haya sido aprobada por el Director.

- Todos los materiales que se utilicen en la obra deberán ser de calidad suficiente a juicio del Director de la obra, aunque no se especifique expresamente en el Pliego de Condiciones. La calidad considerada como suficiente será la más completa de las definidas en la normativa del capítulo 5 de este P.C.T.P.



## **CAPÍTULO IV. Prescripciones sobre materiales**

### **4.1. Aceros**

#### **➤ Condiciones de suministro**

- Los aceros se deben transportar de una manera segura, de forma que no se produzcan deformaciones permanentes y los daños superficiales sean mínimos. Los componentes deben estar protegidos contra posibles daños en los puntos de eslingado (por donde se sujetan para izarlos).
- Los componentes prefabricados que se almacenan antes del transporte o del montaje deben estar apilados por encima del terreno y sin contacto directo con éste. Debe evitarse cualquier acumulación de agua. Los componentes deben mantenerse limpios y colocados de forma que se eviten las deformaciones permanentes.

#### **➤ Recepción y control**

Para los productos planos, salvo acuerdo en contrario, el estado de suministro de los productos planos de los tipos S235, S275 y S355 de grado JR queda a elección del fabricante. Si en el pedido se solicita inspección y ensayo, se deberá indicar:

- Tipo de inspección y ensayos (específicos o no específicos).
- El tipo de documento de la inspección.

Para los productos largos, salvo acuerdo en contrario, el estado de suministro de los productos largos de los tipos S235, S275 y S355 de grado JR queda a elección del fabricante.

Se deberán realizar ensayos. La comprobación de las propiedades o características exigibles a este material se realiza según la normativa vigente.

#### **➤ Conservación, almacenamiento y manipulación**

Si los materiales han estado almacenados durante un largo periodo de tiempo, o de una manera tal que pudieran haber sufrido un deterioro importante, deberán ser comprobados antes de ser utilizados, para asegurarse de que siguen cumpliendo con la norma de producto correspondiente. Los productos de acero resistentes a la corrosión atmosférica pueden requerir un chorreo ligero antes de su empleo para proporcionarles una base uniforme para la exposición a la intemperie.

El material deberá almacenarse en condiciones que cumplan las instrucciones de su fabricante, cuando se disponga de éstas.

➤ **Recomendaciones para su uso en obra**

El material no deberá emplearse si se ha superado la vida útil en almacén especificada por su fabricante.

**4.2. Motor eléctrico**

Los motores deben instalarse de manera que la aproximación a sus partes en movimiento no pueda ser causa de accidente. Los motores no deben estar en contacto con materias fácilmente combustibles y se situarán de manera que no puedan provocar la ignición de estas.

Los conductores de conexión que alimentan a un solo motor deben estar dimensionados para una intensidad del 125 % de la intensidad a plena carga del motor. Los conductores de conexión que alimentan a varios motores, deben estar dimensionados para una intensidad no inferior a la suma del 125 % de la intensidad a plena carga del motor de mayor potencia, más la intensidad a plena carga de todos los demás.

Los motores deben estar protegidos contra cortocircuitos y contra sobrecargas en todas sus fases, debiendo esta última protección ser de tal naturaleza que cubra, en los motores trifásicos, el riesgo de la falta de tensión en una de sus fases.

Los motores deben estar protegidos contra la falta de tensión por un dispositivo de corte automático de la alimentación, cuando el arranque espontáneo del motor, como consecuencia del restablecimiento de la tensión, pueda provocar accidentes, o perjudicar el motor, de acuerdo con la norma UNE 20.460 -4-45.

Los motores deben tener limitada la intensidad absorbida en el arranque, cuando se pudieran producir efectos que perjudicasen a la instalación u ocasionasen perturbaciones inaceptables al funcionamiento de otros receptores o instalaciones.

El número de polos del motor se elegirá de acuerdo a la velocidad de rotación de la máquina accionada.

Los motores deberán cumplir, tanto en dimensiones y formas constructivas, como en la asignación de potencia a los diversos tamaños de carcasa, con las recomendaciones

europas IEC y las normas UNE, DIN y VDE. Las normas UNE específicas para motores son la 20.107, 20.108, 20.111, 20.112, 20.113, 20.121, 20.122 y 20.324.

El diámetro y longitud del eje, las dimensiones de las chavetas y la altura del eje sobre la base estarán de acuerdo a las recomendaciones IEC.

#### **4.3. Soldadura**

El director de obra controlará, previamente a la ejecución de la soldadura, la elección adecuada de los electrodos y de soldador calificado. El constructor presentará una memoria con los requisitos de la soldadura, que son los siguientes:

- Las uniones soldadas se realizarán por arco eléctrico.
- Las características mecánicas de los materiales de aportación serán en todos los casos, superiores a los del material base, y sus cualidades se ajustarán a lo indicado en la norma UNEEN ISO 14555:1999.
- Antes del soldeo se limpiarán los bordes de unión, estando secas las partes a soldar.
- Después de completar la fabricación, la fijación entre componentes que están interconectados en interfaces de conexión múltiples deben comprobarse utilizando plantillas dimensionales o mediante fijación conjunta de los componentes.
- Los defectos no deben cubrirse con soldaduras posteriores y deben eliminarse de cada pasada antes de la siguiente.
- Las reparaciones de soldadura deben realizarse siguiendo una especificación de procedimiento de soldeo.
- Se debe controlar la temperatura máxima del acero y el proceso de enfriamiento, cuando se realicen correcciones de distorsiones de soldeo mediante aplicación local de calor.
- Se prohíbe todo enfriamiento anormal o excesivamente rápido de las soldaduras, por lo que se tomarán las precauciones precisas para ello.



## **6. MEDICIONES**



## ÍNDICE

PARTIDA 1. Elementos de acero inoxidable.....	5
PARTIDA 2. Elementos del sistema de agitación.....	7
PARTIDA 3. Servicio de soldadura.....	9





## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Elementos de acero inoxidable AISI 316. ....	5
<b>Tabla 2:</b> Elementos del sistema de agitación.....	7
<b>Tabla 3:</b> Servicio de soldadura. ....	9



## **PARTIDA 1. Elementos de acero inoxidable**

### **Estructura del tanque y camisa**

La estructura cilíndrica del tanque se compone por 2 chapas de acero inoxidable AISI 316. Las medidas requeridas para construir el tanque son 3142 milímetros de largo por 500 milímetros de ancho en el caso de la virola que formará el tanque y 3192×500 mm en el caso de la virola del doble fondo, que es la camisa. Puesto que en el mercado no existen chapas estándar de acero de dicha longitud, se necesitarán dos chapas, para cada virola, que se unirán mediante soldadura, siendo previamente cortadas para conseguir las medidas deseadas.

Los cabezales conformados, del tanque y del doble fondo, los construye una empresa del sector del metal dedicada a la fabricación de fondos y tapas para depósitos.

Las placas deflectoras son 4 chapas de acero inoxidable AISI 316 de 647 milímetros de largo y 100 milímetros de ancho. Para cumplir con estas medidas se emplearán chapas de 700 mm de largo y 100 mm de ancho, que al igual que con el tanque y la camisa, serán cortadas para ajustarse a las medidas requeridas.

Los últimos elementos de acero inoxidable serán las entradas y la salida de la camisa de calentamiento.

**Tabla 1:** Elementos de acero inoxidable AISI 316.

<b>Elemento acero inox. AISI 316</b>	<b>Unidades</b>	<b>Empresa</b>
Chapa de acero inoxidable AISI 316 3000×500×5 mm	2	Aerinox, S.A.
Chapa de acero inoxidable AISI 316 200×500×5 mm	2	
Chapa de acero inoxidable AISI 316 700×100×5 mm	4	
Cabezal semiesférico Ø1000 mm×5 mm de espesor	1	FONCAL PARRA, S.L.
Cabezal semiesférico Ø1160 mm×5 mm de espesor	1	
Cabezal toriesférico	1	
Entradas Ø160 mm	4	Direct Industry
Salida Ø320 mm	1	



## **PARTIDA 2. Elementos del sistema de agitación**

### **Motor y reductor de velocidades**

En la **Tabla 2** se detallan las características que deben de tener los elementos que forman parte del sistema de agitación.

En el caso del eje del agitador, la longitud exacta de éste es de 869 mm siendo una medida tan específica se deberá comprar un eje de 900 mm y cortarlo a medida. Por otra parte, el impulsor estará hecho a medida por la empresa Link Industrial, S.L.

**Tabla 2:** Elementos del sistema de agitación.

<b>Elemento</b>	<b>Unidades</b>	<b>Empresa</b>
Motor eléctrico tamaño 90S 2 polos	1	Motovario Group
Reductor de velocidades modelo BA 52	1	
Eje Ø30 mm y 900 mm de largo	1	Link Industrial, S.L.
Impulsor (Disco Ø247,5 mm y 3 mm de espesor Palas 82,5×66×3 mm)	2	



### **PARTIDA 3. Servicio de soldadura**

La estructura del tanque se construye a partir de soldar las chapas de acero con el fondo conformado, para ello se requiere de una persona experta en soldadura. Se deberá contratar un servicio de soldadura de una jornada completa, que es el tiempo aproximado que dura el proceso de soldeo de los diferentes elementos.

**Tabla 3:** Servicio de soldadura.

<b>Tipo de soldadura</b>	<b>Horas de servicio</b>	<b>Empresa</b>
Doble arco con depósito de material en las superficies externa e interna de la unión.	8	IK4-Lortek





## **7. PRESUPUESTO**



## ÍNDICE

1. Presupuesto de Ejecución Material (PEM) .....	5
1.1. Elementos de acero inoxidable .....	5
1.2. Elementos del sistema de agitación.....	6
1.3. Servicio de soldadura .....	6
2. Presupuesto Total.....	7



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Elementos de acero inoxidable AISI 316. ....	5
<b>Tabla 2:</b> Elementos del sistema de agitación. ....	6
<b>Tabla 3:</b> Servicio de soldadura. ....	6
<b>Tabla 4:</b> Presupuesto de Ejecución Material (PEM).....	7
<b>Tabla 5:</b> Presupuesto total. ....	7



## 1. Presupuesto de Ejecución Material (PEM)

El Presupuesto de Ejecución Material (PEM) es el importe del coste de los materiales y de la mano de obra, necesarios para la ejecución de una obra.

### 1.1. Elementos de acero inoxidable

La primera partida corresponde al número de elementos de acero inoxidable AISI 316 que se requieren para la construcción del tanque, las placas deflectoras y el doble fondo que corresponde a la camisa, además del fondo y la tapa que serán construidos por una empresa experta.

**Tabla 1:** Elementos de acero inoxidable AISI 316.

Elemento	Unidades	Precio (€/ud)	Precio total (€)
Chapa de acero inoxidable AISI 316 3000×500×5 mm	2	606,74	1.213,48
Chapa de acero inoxidable AISI 316 200×500×5 mm	2	295,33	590,66
Chapa de acero inoxidable AISI 316 700×100×5 mm	4	195,62	782,48
Cabezal semiesférico Ø1000 mm×5 mm de espesor	1	2.475,00	2.475,00
Cabezal semiesférico Ø1160 mm×5 mm de espesor	1	2.672,00	2.672,00
Cabezal toriesférico	1	2.947,00	2.947,00
Entradas Ø160 mm	4	36,15	144,60
Salida Ø320 mm	1	52,30	52,30
<b>TOTAL: 10.877,52 €</b>			
<b>DIEZ MIL OCHOCIENTOS SETENTA Y SIETE EUROS CON CINCUENTA Y DOS CÉNTIMOS</b>			

## 1.2. Elementos del sistema de agitación

La partida 2 pertenece a los elementos que componen el sistema de agitación: motor eléctrico, reductor de velocidades, eje e impulsor.

**Tabla 2:** Elementos del sistema de agitación.

Elemento	Unidades	Precio (€/ud)	Precio total (€)
Motor eléctrico tamaño 90S 2 polos	1	238,75	238,75
Reductor de velocidades modelo BA 52	1	197,52	197,52
Eje Ø30 mm y 900 mm de largo	1	94,26	94,26
Impulsor (Disco Ø247,5 mm y 3 mm de espesor Palas 82,5×66×3 mm)	2	166,81	333,62
<b>TOTAL: 864,15 €</b> <b>OCHOCIENTOS SESENTA Y CUATRO EUROS CON QUINCE CÉNTIMOS</b>			

## 1.3. Servicio de soldadura

La partida número 3 está dedicada al servicio de soldadura que se necesita para construir la estructura del tanque.

**Tabla 3:** Servicio de soldadura.

Tipo de soldadura	Horas de servicio	Precio (€/h)	Precio (€)
Doble arco con depósito de material en las superficies externa e interna de la unión	8	160,00	1.280,00
<b>TOTAL: 1.280,00</b> <b>MIL DOSCIENTOS OCHENTA EUROS</b>			



El valor del Presupuesto de Ejecución Material resulta del sumatorio del coste de las diferentes partidas.

**Tabla 4:** Presupuesto de Ejecución Material (PEM).

Partida	Precio (€)
Elementos de acero inoxidable AISI 316	10.877,52
Elementos del sistema de agitación	864,15
Servicio de soldadura	1.280,00
<b>PEM: 13.021,67 €</b> <b>TRECE MIL VEINTIÚN EUROS CON SESENTA Y SIETE CÉNTIMOS</b>	

## 2. Presupuesto Total

Para calcular el valor del presupuesto total hay que considerar un porcentaje de gastos generales de forma que se obtiene el Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC). A éste debe sumarse el porcentaje correspondiente a la realización del proyecto obteniendo un total al que se suma el IVA.

**Tabla 5:** Presupuesto total.

<b>Presupuesto de Ejecución Material (PEM)</b>	<b>13.021,67 €</b>
13% Gastos Generales	1.692,82€
<b>Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)</b>	<b>1.4714,49 €</b>
7% Realización Proyecto	1.030,01 €
<b>TOTAL</b>	<b>15.744,50 €</b>
21% IVA	3.306,35 €
<b>TOTAL + IVA</b>	<b>19.050,85 €</b>

El Presupuesto Total tiene un valor de **DIECINUEVE MIL CINCUENTA EUROS CON OCHENTA Y CINCO CÉNTIMOS**.

